



TUGAS AKHIR TERAPAN – RC 145501

**PERHITUNGAN STRUKTUR GEDUNG BPKAD
(BADAN PENGELOLA KEUANGAN DAN ASET DAERAH)
PROVINSI JAWA TIMUR DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

**NUR AFIAH
NRP. 3113 030 125**

**ISMI BAROROH
NRP. 3113 030 132**

**Dosen Pembimbing
Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc, PhD
NIP. 19630726 198903 1 003**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT – RC 145501

**THE CALCULATION OF BPKAD
(REGIONAL OFFICE FOR MANAGEMENT OF REVENUE,
FINANCE AND ASSETS) BUILDING STRUCTURE
EAST JAVA PROVINCE USING INTERMEDIATE
MOMENT FRAME SYSTEM METHOD**

**NUR AFIAH
NRP. 3113 030 125**

**ISMI BAROROH
NRP. 3113 030 132**

**Consellor Lecture
Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc,PhD
NIP. 19630726 198903 1 003**

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF CIVIL AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PERHITUNGAN STRUKTUR GEDUNG BPKAD (BADAN PENGELOLA KEUANGAN DAN ASET DAERAH) PROVINSI JAWA TIMUR DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya Teknik

Pada

Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh:

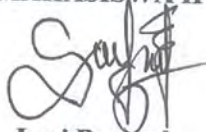
MAHASISWA I



Nur Afiah

3113 030 125

MAHASISWA II



Ismi Baroroh

3113 030 132

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc, PhD

NIP. 19630726 198903 1 003

11 JUL 2016

SURABAYA, 31 JUNI 2016

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : ISMI BAROROH
Nrp. : 3113030132
Jurusan / Fak. : D3 TEKNIK SIPIL FTSP
Alamat kontak :
a. Email : ismibaroroh13@yahoo.com
b. Telp/HP : 085746218448

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalti-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perhitungan Struktur Gedung BPKAD (Badan pengelola keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa Timur Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dosen Pembimbing : ISM Sigit Darmawan, M Eng Sc, PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal :

Yang menyatakan,

ISMI BAROROH

Nrp. 3113030132

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**PERHITUNGAN STRUKTUR GEDUNG
BPKAD (BADAN PENGELOLA KEUANGAN DAN ASET
DAERAH) PROVINSI JAWA TIMUR DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

Nama Mahasiswa : 1. Nur Afiah
2. Ismi Baroroh
NRP : 1. 3113.030.125
2. 3113.030.132
Jurusan : Bangunan Gedung Diploma III
Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. M. Sigit Darmawan, MSc, PhD

ABSTRAK

Salah satu metode yang digunakan dalam perhitungan suatu struktur gedung tahan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Metode ini digunakan pada daerah wilayah gempa yang didasarkan pada perhitungan Peta Hazard dengan periode ulang 2500 tahun. Pada tugas akhir ini penyusun mengambil objek pada pembangunan Gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa Timur.

Dalam perhitungan struktur terlebih dahulu menentukan data perencanaan dan pembebanan. Pembebanan ditentukan berdasarkan denah lantai dan fungsi bangunan yang akan dipakai. Semua perhitungan pembebanan berdasarkan Peraturan beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 03-1727-2013) dan Peraturan Pembebanan untuk Gedung (PPIUG 1983). Sedangkan pembebanan gempa didasarkan pada tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 03-1726-2012). Pada perencanaan perhitungan gempa menggunakan analisa statik ekuivalen dan analisa struktur menggunakan program SAP 2000. Perhitungan struktur atas dan bawah menggunakan tata cara perhitungan struktur beton untuk

bangunan gedung (SNI 03-2847-2013) dan peraturan penunjang lainnya.

Dari perhitungan yang telah dikerjakan, didapatkan hasil yang memenuhi syarat ketentuan SRPMM. Hasil dari perhitungan ini berupa gambar teknik yang terdiri dari gambar denah struktur dan gambar detail penulangan.

Kata kunci : SRPMM, periode ulang 2500 tahun, statik ekuivalen.

**THE CALCULATION OF BPKAD (REGIONAL OFFICE
FOR MANAGEMENT OF REVENUE, FINANCE AND
ASSETS) BUILDING STRUCTURE EAST JAVA
PROVINCE USING INTERMEDIATE MOMENT FRAME
SYSTEM METHOD**

Name of Student : 1. Nur Afiah
2. Ismi Baroroh
NRP : 1. 3113.030.125
2. 3113.030.132
Department : Building Diploma III
Civil Engineering FTSP – ITS
Consellor Lecture : Ir. M. Sigit Darmawan, MSc, PhD

ABSTRACT

One of the methods used in the calculation of an earthquake resistant building structure is a Intermediate Moment Frame System Method. This method is used on the earthquake area, based on the calculation of Hazard Map with a period repeat of 2500 years. In this final task, compilers take objects on the construction of BPKAD (Regional Office for Management of Revenue, Finance and Assets) of East Java province.

In the structure calculation, firstly we determined the data planning and loading. The imposition is determined based on the floor plans and building functions that will be used. All calculations are based on The Imposition of Minimum Load Regulation for Buildings Design and Other Structures (SNI 03-1727-2013) and Indonesia Load Custom for Building Structure (PPIUG 1983). Whereas the imposition of earthquake based on The Earthquake Resistance for Building (SNI 03-1726-2012). On the planning of earthquake calculations using equivalent static analysis and structur analysis that using SAP 2000 program. Calculation of the structure of the top and bottom using The Procedures for

Calculation of Concrete Structures for Buildings (SNI 03-2847-2013) and other supporting regulations

From the calculations that have been done, the obtained results meet the SRPMM requirements. The results of these calculations is in the form of a technical drawing that consists of drawing structure and structure with detailing drawing.

Key words : SRPMM, 2500-years period repeat, static equivalent.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | i |
| ABSTRAK | ii |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| DAFTAR NOTASI | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Maksud dan Tujuan..... | 2 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Peraturan yang Digunakan | 5 |
| 2.2 Pembebanan | 5 |
| 2.2.1 Beban Mati (Dead Load) | 5 |
| 2.2.2 Beban Hidup (Live Load)..... | 5 |
| 2.2.3 Beban Angin (Wind Load) | 6 |
| 2.2.4 Beban Gempa (Earthquake Load) | 12 |
| 2.3 Komponen Tulangan Lentur Beton Bertulang | 21 |
| 2.3.1 Persyaratan Komponen Lentur | 21 |
| 2.3.2 Analisa Gaya Dalam Komponen Lentur..... | 27 |
| 2.3.3 Penulangan Lentur | 29 |
| 2.4 Penulangan Geser | 33 |
| 2.5 Penulangan Torsi Balok | 37 |
| 2.6 Penulangan Kolom | 39 |
| 2.6.1 Perencanaan Dimensi Kolom | 39 |
| 2.6.2 Penulangan Lentur Kolom..... | 40 |
| 2.6.3 Penulangan Geser Kolom | 43 |
| 2.6.4 Ketentuan-ketentuan Perhitungan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.5)..... | 45 |

| | | |
|-------------------------------------|--|----|
| 2.7 | Perencanaan Pondasi | 46 |
| 2.7.1 | Daya Dukung Aksial Pondasi Borpile | 46 |
| 2.7.2 | Daya Dukung Horisontal Pondasi Tiang Bor | 48 |
| 2.7.3 | Kapasitas Cabut Tiang (R_c) | 50 |
| 2.7.4 | Perhitungan Kebutuhan Tiang Borpile | 50 |
| 2.7.5 | Perencanaan Dimensi Poer | 50 |
| 2.7.6 | Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Borpile | 51 |
| 2.7.7 | Efisiensi Kelompok Tiang (η) | 51 |
| 2.7.8 | Pengecekan Antara P_u max dan P ijin Total | 51 |
| 2.7.9 | Perhitungan Daya Dukung Borpile dalam Kelompok 52 | |
| 2.7.10 | Perhitungan Tulangan Borpile | 52 |
| 2.7.11 | Perhitungan Geser Spiral Tulangan Borpile | 53 |
| 2.7.12 | Panjang Penyaluran Tulangan Borpile | 54 |
| 2.7.13 | Perhitungan Perencanaan Pile Cap (Poer) | 54 |
| 2.7.14 | Penyaluran Tulangan Stek Kolom | 56 |
| BAB III METODOLOGI | | 57 |
| 3.1 | Pengumpulan Data | 59 |
| 3.2 | Perencanaan Dimensi Struktur (Preliminary Design) | 59 |
| 3.3 | Input Pembebanan | 60 |
| 3.4 | Analisa Struktur | 61 |
| 3.5 | Analisa Gaya Dalam (M , N , D) | 61 |
| 3.6 | Perhitungan Tulangan Struktur | 63 |
| 3.7 | Cek Persyaratan Penulangan | 63 |
| 3.8 | Gambar Rencana | 64 |
| 3.9 | Diagram Alur | 65 |
| 3.9.1 | Pelat | 65 |
| 3.9.2 | Balok | 69 |
| 3.9.3 | Kolom | 75 |
| 3.9.4 | Pondasi Borpile dan Pilecap | 81 |
| BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN | | 87 |
| 4.1 | Data Perencanaan | 87 |
| 4.2 | Penentuan Dimensi Struktur | 88 |
| 4.2.1 | Penentuan Dimensi Balok | 88 |
| 4.2.2 | Penentuan Dimensi Kolom | 93 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.2.3 | Penentuan Dimensi Sloof | 95 |
| 4.2.4 | Perencanaan Dimensi Pelat | 98 |
| 4.2.4.1 | Penentuan Dimensi Pelat Dua Arah Tipe 1 .. | 99 |
| 4.2.4.2 | Penentuan Dimensi Pelat Dua Arah Tipe 2 | 106 |
| 4.2.4.3 | Penentuan Dimensi Pelat Dua Arah Tipe 3 | 113 |
| 4.2.5 | Perencanaan Dimensi Tangga | 120 |
| 4.2.5.1 | Tangga Tipe 1 (Tangga Utama) | 120 |
| 4.2.5.2 | Tangga Tipe 2 (Tangga Darurat) | 123 |
| 4.3 | Perhitungan Struktur | 126 |
| 4.3.1 | Pembebanan Struktur | 126 |
| 4.3.1.1 | Pembebanan Pelat | 126 |
| 4.3.1.2 | Pembebanan Tangga | 129 |
| 4.3.1.3 | Pembebanan Dinding | 130 |
| 4.3.1.4 | Pembebanan Kolom | 131 |
| 4.3.1.5 | Pembebanan Gempa | 139 |
| 4.4 | Perhitungan Tulangan Pelat | 152 |
| 4.4.1 | Perencanaan Pelat | 152 |
| 4.4.1.1 | Pembebanan Pelat | 152 |
| 4.4.1.2 | Perhitungan Penulangan Pelat | 153 |
| 4.4.2 | Perencanaan Tangga | 172 |
| 4.4.2.1 | Perhitungan Penulangan Tangga | 172 |
| 4.5 | Perhitungan Balok | 191 |
| 4.5.1 | Perhitungan Balok Induk | 191 |
| 4.5.1.1 | Perhitungan Penulangan Puntir | 196 |
| 4.5.1.2 | Perhitungan Penulangan Lentur | 200 |
| 4.5.1.3 | Perhitungan Penulangan Geser | 223 |
| 4.5.1.4 | Perhitungan Panjang Penulangan | 232 |
| 4.5.2 | Perhitungan Balok Anak | 238 |
| 4.5.2.1 | Perhitungan Penulangan Puntir | 242 |
| 4.5.2.2 | Perhitungan Penulangan Lentur | 246 |
| 4.5.2.3 | Perhitungan Penulangan Geser | 270 |
| 4.5.2.4 | Perhitungan Panjang Penulangan | 278 |
| 4.5.3 | Perhitungan Sloof | 283 |
| 4.5.3.1 | Perhitungan Penulangan Puntir | 287 |
| 4.5.3.2 | Perhitungan Penulangan Lentur | 291 |

| | | |
|----------------------------------|--|-----|
| 4.5.3.3 | Perhitungan Penulangan Geser | 307 |
| 4.5.3.4 | Perhitungan Panjang Penulangan..... | 315 |
| 4.5.4 | Perhitungan Balok Bordes | 321 |
| 4.5.4.1 | Perhitungan Penulangan Puntir | 325 |
| 4.5.4.2 | Perhitungan Penulangan Lentur | 329 |
| 4.5.4.3 | Perhitungan Penulangan Geser | 353 |
| 4.5.4.4 | Perhitungan Panjang Penulangan..... | 361 |
| 4.6 | Perhitungan Kolom | 367 |
| 4.6.1 | Perhitungan Kolom K1 | 367 |
| 4.6.1.1 | Perhitungan Lentur Kolom | 367 |
| 4.6.1.2 | Perhitungan Geser Kolom..... | 393 |
| 4.6.1.3 | Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom..... | 399 |
| 4.6.1.4 | Panjang Penyaluran Tulangan Kolom..... | 399 |
| 4.6.2 | Perhitungan Kolom K2 | 401 |
| 4.6.2.1 | Perhitungan Lentur Kolom | 401 |
| 4.6.2.2 | Perhitungan Geser Kolom..... | 426 |
| 4.6.2.3 | Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom..... | 432 |
| 4.6.2.4 | Panjang Penyaluran Tulangan Kolom..... | 432 |
| 4.6.3 | Perhitungan Kolom K3 | 434 |
| 4.6.3.1 | Perhitungan Lentur Kolom | 434 |
| 4.6.3.2 | Perhitungan Geser Kolom..... | 459 |
| 4.6.3.3 | Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom..... | 464 |
| 4.6.3.4 | Panjang Penyaluran Tulangan Kolom..... | 465 |
| 4.7 | Perhitungan Pondasi | 467 |
| 4.7.1 | Perencanaan Pondasi | 467 |
| 4.7.2 | Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tunggal pada Setiap Lapisan Kedalaman Tanah | 468 |
| 4.7.3 | Perhitungan Pondasi Tipe 1 | 472 |
| 4.7.4 | Perhitungan Pondasi Tipe 2 | 497 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 521 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 521 |
| 5.2 | Saran..... | 524 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| DAFTAR PUSTAKA | 525 |
| Lampiran 1: Data Uji Tanah..... | 526 |
| Lampiran 2: Data Lift..... | 527 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2. 1 Kategori Resiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es | 7 |
| Tabel 2. 2 Faktor Arah Angin, K_d | 8 |
| Tabel 2. 3 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})..... | 10 |
| Tabel 2. 4 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z ... | 10 |
| Tabel 2. 5 Konstanta Eksposur Daratan | 11 |
| Tabel 2. 6 Koefisien tekanan eksternal, C_p | 12 |
| Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs..... | 14 |
| Tabel 2. 8 Koefisien Situs, F_a | 16 |
| Tabel 2. 9 Koefisien Situs, F_v | 17 |
| Tabel 2. 10 Koefisien untuk Batas Atas Pada Perioda yang Dihitung..... | 18 |
| Tabel 2. 11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x | 18 |
| Tabel 2. 12 Kategori Risiko | 19 |
| Tabel 2. 13 Faktor Keutamaan Gempa..... | 19 |
| Tabel 2. 14 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa | 20 |
| Tabel 2. 15 Pelindung Beton untuk Tulangan | 21 |
| Tabel 2. 16 Tebal Minimum Balok Non-Prategang Atau Pelat Satu Arah..... | 23 |
| Tabel 2. 17 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior | 25 |
| Tabel 4. 1 Kategori Resiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es (Bangunan Gedung BPKAD)..... | 131 |
| Tabel 4. 2 Faktor Arah Angin, K_d | 132 |
| Tabel 4. 3 Perhitungan Le_{ff} | 133 |
| Tabel 4. 4 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})..... | 135 |
| Tabel 4. 5 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z . | 135 |
| Tabel 4. 6 Konstanta Eksposur Daratan | 136 |
| Tabel 4. 7 Koefisien Tekanan Eksternal, C_p | 137 |
| Tabel 4. 8 Tahanan Penetrasi Tanah | 140 |
| Tabel 4. 9 Perhitungan Berat Komponen Bangunan | 141 |
| Tabel 4. 10 Berat Frame hasil Output SAP | 142 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4. 11 Gaya Gempa Perlantai..... | 148 |
| Tabel 4. 12 Gaya Gempa Perjoint | 149 |
| Tabel 4. 13 Gaya Gempa Perjoint dengan Arah Berlawanan.... | 150 |
| Tabel 4. 14 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir... | 233 |
| Tabel 4. 15 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis | 233 |
| Tabel 4. 16 Data Tanah Keras Sumenep | 468 |
| Tabel 4. 17 Perhitungan Daya Dukung 1 Tiang setiap Lapisan Tanah..... | 469 |
| Tabel 4. 18 Perhitungan Jarak X dan Y | 476 |
| Tabel 4. 19 Perhitungan Jarak X dan Y | 500 |
| Tabel 5. 1 Rekap Hasil Perhitungan Pelat Lantai | 521 |
| Tabel 5. 2 Rekap Hasil Perhitungan Pelat Tangga | 522 |
| Tabel 5. 3 Rekap Hasil Perhitungan Balok | 522 |
| Tabel 5. 4 Rekap Hasil Perhitungan Kolom..... | 523 |
| Tabel 5. 5 Rekap Hasil Perhitungan Pondasi | 524 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 detik (S_s) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun | 15 |
| Gambar 2. 2 Peta Respon Spektra Percepatan 0.1 detik (S_1) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun | 16 |
| Gambar 2. 3 Dimensi Bidang Pelat 1 Arah | 22 |
| Gambar 2. 4 Dimensi Bidang Pelat 2 Arah | 24 |
| Gambar 2. 5 Terminologi Balok / Pelat Satu Arah Di Atas Banyak Tumpuan..... | 28 |
| Gambar 2. 6 Momen Pelat..... | 29 |
| Gambar 2. 7 Lentur Tulangan Rangkap | 29 |
| Gambar 2. 8 Lentur Tulangan Tunggal | 31 |
| Gambar 2. 9 Geser Desain Balok untuk Rangka Momen Menengah | 35 |
| Gambar 2. 10 Analogi Tulangan Torsi..... | 37 |
| Gambar 2. 11 Faktor Panjang Efektif (k) | 41 |
| Gambar 2. 12 Gaya Lintang pada Kolom..... | 44 |
| Gambar 2. 13 Diagram Perhitungan dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi pada Ujung Tiang..... | 47 |
| Gambar 2. 14 Borpile dengan tulangan spiral | 54 |
| Gambar 3. 1 Flowchart Perencanaan Struktur Bangunan..... | 58 |
| Gambar 3. 2 Flowchart Perhitungan Pelat..... | 68 |
| Gambar 3. 3 Flowchart Perhitungan Lentur Balok | 70 |
| Gambar 3. 4 Flowchart Perhitungan Geser Balok..... | 72 |
| Gambar 3. 5 Flowchart Perhitungan Torsi Balok..... | 74 |
| Gambar 3. 6 Flowchart Perhitungan Lentur Kolom | 78 |
| Gambar 3. 7 Flowchart Perhitungan Geser Kolom | 80 |
| Gambar 3. 8 Flowchart Perhitungan Tulangan Borpile dan Pilecap | 85 |
| Gambar 4. 1 Denah Perencanaan Balok Induk..... | 89 |
| Gambar 4. 2 Denah Perencanaan Balok Anak | 91 |
| Gambar 4. 3 Denah Perencanaan Balok Kantilever | 92 |
| Gambar 4. 4 Denah Perencanaan Kolom | 94 |
| Gambar 4. 5 Denah Perencanaan Sloof..... | 96 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4. 6 Denah Perencanaan Pelat Tipe 1 | 99 |
| Gambar 4. 7 Denah Perencanaan Pelat Tipe 2 | 106 |
| Gambar 4. 8 Denah Perencanaan Pelat Tipe 3 | 113 |
| Gambar 4. 9 Denah Perencanaan Tangga 1..... | 121 |
| Gambar 4. 10 Potongan Tangga Tipe 1..... | 121 |
| Gambar 4. 11 Zoom Potongan Tangga Tipe 1 | 122 |
| Gambar 4. 12 Denah Perencanaan Tangga 2..... | 124 |
| Gambar 4. 13 Potongan Tangga Tipe 2..... | 124 |
| Gambar 4. 14 Data Perkiraan Cuaca Provinsi Jawa Timur | 132 |
| Gambar 4. 15 Ketentuan Distribusi Bangunan Gedung Tertutup Atap Datar | 138 |
| Gambar 4. 16 Tulangan Pelat Atap | 162 |
| Gambar 4. 17 Tulangan Pelat Atap | 172 |
| Gambar 4. 18 Denah Penulangan Tangga Utama | 181 |
| Gambar 4. 19 Potongan Tangga Utama | 182 |
| Gambar 4. 20 Denah Penulangan Tangga Darurat | 190 |
| Gambar 4. 21 Potongan Tangga Darurat..... | 191 |
| Gambar 4. 22 Tinggi Efektif Balok..... | 192 |
| Gambar 4. 23 Denah Balok yang Ditinjau | 193 |
| Gambar 4. 24 Luasan Acp dan Aoh | 195 |
| Gambar 4. 25 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart..... | 235 |
| Gambar 4. 26 Penulangan Balok Induk..... | 237 |
| Gambar 4. 27 Detail Penulangan Balok Induk..... | 237 |
| Gambar 4. 28 Denah Balok yang Ditinjau | 239 |
| Gambar 4. 29 Penulangan Balok Anak | 282 |
| Gambar 4. 30 Detail Penulangan Balok Anak..... | 282 |
| Gambar 4. 31 Denah Balok yang Ditinjau | 284 |
| Gambar 4. 32 Penulangan Sloof..... | 320 |
| Gambar 4. 33 Detail Penulangan Sloof..... | 320 |
| Gambar 4. 34 Denah Balok yang Ditinjau | 322 |
| Gambar 4. 35 Penulangan Balok Bordes..... | 366 |
| Gambar 4. 36 Detail Penulangan Balok Bordes | 366 |
| Gambar 4. 37 Gambar Denah Posisi Kolom K1 | 368 |
| Gambar 4. 38 Faktor Efektif (K) | 374 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4. 39 Penampang Kolom K1 | 391 |
| Gambar 4. 40 Grafik Akibat Momen pada PCA Column | 392 |
| Gambar 4. 41 Hasil Output pada PCA Column | 392 |
| Gambar 4. 42 Gaya Lintang Rencana Kolom K1 | 394 |
| Gambar 4. 43 Lintang Rencana untuk SRPMM..... | 395 |
| Gambar 4. 44 Penulangan Portal K1 | 400 |
| Gambar 4. 45 Gambar Denah Posisi Kolom K2 | 402 |
| Gambar 4. 46 Faktor Efektif (K) | 407 |
| Gambar 4. 47 Penampang Kolom K2 | 424 |
| Gambar 4. 48 Grafik Akibat Momen pada PCA Column | 425 |
| Gambar 4. 49 Hasil Output pada PCA Column | 425 |
| Gambar 4. 50 Gaya Lintang Rencana Kolom K2..... | 427 |
| Gambar 4. 51 Penulangan Portal K2 | 433 |
| Gambar 4. 52 Denah Posisi Kolom K3 | 435 |
| Gambar 4. 53 Faktor Efektif (K) | 440 |
| Gambar 4. 54 Penampang Kolom K3 | 457 |
| Gambar 4. 55 Grafik Akibat Momen pada PCA Column | 458 |
| Gambar 4. 56 Hasil Output pada PCA Column | 458 |
| Gambar 4. 57 Gaya Lintang Rencana Kolom K3..... | 460 |
| Gambar 4. 58 Penulangan Portal | 466 |
| Gambar 4. 59 Gaya Poer dan Tiang Borpile | 475 |
| Gambar 4. 60 Grafik Akibat Momen pada PCA Col | 481 |
| Gambar 4. 61 Hasil Output pada PCA Col..... | 481 |
| Gambar 4. 62 Penampang Borpile | 483 |
| Gambar 4. 63 Hasil Perhitungan Tulangan Borpile | 484 |
| Gambar 4. 64 Bidang Kritis Pons Satu Arah..... | 485 |
| Gambar 4. 65 Bidang Kritis Pons Dua Arah | 487 |
| Gambar 4. 66 Mekanika Gaya pada Poer arah X | 490 |
| Gambar 4. 67 Mekanika Gaya pada Poer arah Y | 493 |
| Gambar 4. 68 Penulangan Pilecap P1 Tampak Atas | 496 |
| Gambar 4. 69 Tampak Penulangan Pilecap dan Borpile P1 | 496 |
| Gambar 4. 70 Gaya Poer dan Tiang Borpile | 500 |
| Gambar 4. 71 Grafik akibat momen pada PCA Col | 505 |
| Gambar 4. 72 Hasil Cek pada PCA Col | 505 |
| Gambar 4. 73 Gambar Hasil Perhitungan Tulangan Borpile..... | 508 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4. 74 Bidang Kritis Pons Satu Arah (1) | 509 |
| Gambar 4. 75 Bidang Kritis Pons Satu Arah (2) | 510 |
| Gambar 4. 76 Bidang Kritis Pons Dua Arah | 511 |
| Gambar 4. 77 Mekanika Gaya pada Poer arah Y | 517 |
| Gambar 4. 78 Penulangan Pilecap P2 Tampak Atas | 520 |
| Gambar 4. 79 Tampak Penulangan Pilecap dan Borpile P2..... | 520 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|----------|---|
| A_{cp} | = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2 |
| A_{cv} | = Luas efektif bidang geser dalam hubungan balok kolom (mm^2) |
| A_g | = Luas bruto penampang (mm^2) |
| A_n | = Luas bersih penampang (mm^2) |
| A_{tp} | = Luas penampang tiang pancang (mm^2) |
| A_l | = Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2) |
| A_o | = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2) |
| A_{oh} | = Luas penampang yang dibatasi oleh garis as tulangan sengkang (mm^2) |
| A_s | = Luas tulangan tarik non prategang (mm^2) |
| A_s' | = Luas tulangan tekan non prategang (mm^2) |
| A_t | = Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2) |
| A_v | = Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2) |
| b | = Lebar daerah tekan komponen struktur (mm^2) |
| b_o | = Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi (mm) |
| b_w | = Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm) |
| C | = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm) |
| C_c' | = Gaya pada tulangan tekan |
| C_s | = Koefisien respons gempa (lihat 7.8.1.1 dan 13) SNI 1726 2012 |
| C_s' | = Gaya tekan pada beton |
| d | = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm) |

| | |
|----------|--|
| d_i | = Tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.3 SNI 1726 2013 |
| d' | = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm) |
| d_b | = Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm) |
| D | = Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati |
| e | = Eksentrisitas dari pembebanan tekan pada kolom atau telapak pondasi |
| e_x | = Jarak kolom ke pusat kekakuan arah x |
| e_y | = Jarak kolom ke pusat kekakuan arah y |
| E | = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa |
| E_x | = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa X |
| E_y | = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y |
| E_c | = Modulus elastisitas beton (MPa) |
| I_b | = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok |
| I_p | = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat |
| F_a | = Koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik), lihat 6.2 SNI 1726 2012 |
| f_c' | = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa) |
| f_y | = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa) |
| F_v | = koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik), lihat 6.2 SNI 1726 2012 |
| f_{vy} | = Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa) |
| f_{ys} | = Kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa) |
| h | = Tinggi total dari penampang |
| h_n | = Bentang bersih kolom |

| | |
|-----------|---|
| k | = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur (lihat 7.8.3) SNI 1726 2012 |
| L | = Panjang komponen struktur |
| L_n | = Bentang bersih balok |
| M_u | = Momen terfaktor pada penampang (Nmm) |
| M_{nb} | = Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh |
| M_{nc} | = Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm) |
| M_n | = Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm) |
| M_{nx} | = Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x |
| M_{ny} | = Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y |
| M_{ox} | = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x untuk aksial tekan yang nol |
| M_{oy} | = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y untuk aksial tekan yang nol |
| M_1 | = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm) |
| M_2 | = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada Komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm) |
| M_{1ns} | = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm) |
| M_{2ns} | = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang |

- berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- M_{1s} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M_{2s} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- N = Tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.2 SNI 1726 2012
- N_u = Beban aksial terfaktor
- P_{cp} = keliling luar penampang beton (mm)
- P_b = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
- P_c = Beban kritis (N)
- Ph = Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi
- P_n = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- P_o = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol (N)
- P_u = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
- R = Koefisien modifikasi respons, lihat table 9 SNI 1726 2012
- S = Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan (N)
- S_s = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.1.1 SNI 1726 2012

| | |
|------------|---|
| S_{DS} | = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.6.4 (lihat 8.8.1) SNI 1726 2012 |
| S_{D1} | = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.4.4 SNI 1726 2012 |
| S_1 | = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.1.1 SNI 1726 2012 |
| S_{MS} | = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs |
| S_{M1} | = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs |
| T | = Periode fundamental bangunan seperti ditentukan dalam 7.8.2 SNI 1726 2012 |
| T_c | = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton |
| T_n | = Kuat momen torsi nominal (Nmm) |
| T_s | = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh Tulangan tarik |
| T_u | = Momen torsi tefaktor pada penampang (Nmm) |
| V_c | = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (N) |
| V_s | = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N) |
| V_u | = Gaya geser terfaktor pada penampang (N) |
| x | = Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang |
| α | = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok |
| α_m | = Nilai rata-rata α untuk semua balok tepi dari suatu panel |
| β | = Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah |

| | |
|-----------------|--|
| β_d | = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum |
| ρ | = Rasio tulangan tarik $\left(\frac{A_s}{bd} \right)$ |
| ρ' | = Rasio tulangan tekan $\left(\frac{A_s'}{bd} \right)$ |
| ρ_b | = Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang |
| ρ_{\max} | = Rasio tulangan tarik maksimum |
| ρ_{\min} | = Rasio tulangan tarik minimum |
| ϕ | = Faktor reduksi kekuatan |
| ε | = Regangan (mm) |
| ε_c | = Regangan dalam beton (mm) |
| λ_d | = Panjang penyaluran (mm) |
| λ_{db} | = Panjang penyaluran dasar (mm) |
| λ_{dh} | = Panjang penyaluran kait standar tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan).(mm) |
| λ_{hb} | = Panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik (mm) |
| λ_n | = Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif |
| λ_u | = Panjang bebas (tekuk) pada kolom |
| δ_{ns} | = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan |
| δ_s | = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perhitungan bangunan sipil adalah perhitungan struktur yang dapat menyalurkan beban-bebannya menuju ke pondasi dengan baik tanpa keruntuhan. Mekanisme penyaluran beban tadi bisa terjadi secara langsung berupa momen, gaya aksial, torsi dan geser (atau kombinasinya). Semua mekanisme tadi menyalurkan gaya-gaya ke pondasi, dan pondasi harus kuat memikulnya.

Dalam tugas akhir perhitungan struktur bangunan gedung ini, penulis menggunakan bangunan gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa Timur yang terletak di Sumenep. Fungsi bangunan ini adalah gedung perkantoran dan terdiri dari 5 lantai, namun dalam penyusunan tugas akhir ini berdasarkan standar studi diploma III akan direncanakan jumlah lantai sebanyak 4 lantai dan luas bangunan $\pm 3904 \text{ m}^2$. Kebutuhan dalam merencanakan preliminari desain bangunan gedung ini akan dihitung kembali sesuai dengan kebutuhan dengan mengganti dimensi komponen-komponennya. Dengan alasan sebagai syarat pembatasan jumlah lantai untuk penyusunan Tugas Akhir strata Diploma.

Ditinjau dari letaknya bangunan gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa Timur yaitu di Sumenep yang termasuk daerah dengan gempa rendah sampai menengah, maka struktur bangunan ini akan direncanakan dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah sesuai SNI 2847-2013 dan desain gempa 2% dari 50 tahun yang artinya probabilitas keruntuhan bangunan 2% dalam 50 tahun. Perencanaan gempa dalam perhitungan struktur bangunan gedung BPKAD Provinsi Jawa Timur mengacu SNI 1726-2012.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam perhitungan struktur Gedung BPKAD Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah:

1. Apa saja beban-beban yang bekerja dalam struktur gedung dan bagaimana menganalisis gaya-gaya dalam struktur gedung
2. Bagaimana menghitung penulangan struktur gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
3. Bagaimana merencanakan pondasi sesuai dengan jenis tanah pada bangunan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Hanya meninjau 2 portal pada struktur bangunan (portal memanjang dan portal melintang)
2. Beban gempa dihitung dengan menggunakan analisa beban gempa statik ekuivalen
3. Perhitungan ini hanya membahas struktural dan tidak membahas manajemen konstruksi

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud disusunnya tugas akhir ini agar dapat memberikan manfaat untuk diri sendiri agar lebih memahami teori yang telah diperoleh selama perkuliahan mengenai perencanaan bangunan gedung dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

Tujuan penyusunan tugas akhir “Perhitungan Struktur Gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa Timur” ini adalah dapat menghitung penulangan struktur gedung 4 lantai sesuai ketentuan SNI

dan dapat menuangkan hasil perhitungan dalam bentuk gambar teknik.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Mendapatkan perhitungan penulangan struktur gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
2. Mengetahui cara perhitungan struktur gedung sesuai SNI.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peraturan yang Digunakan

Perhitungan struktur gedung ini menggunakan acuan standart sebagai berikut:

1. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971
2. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983)
3. Peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013)
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)
5. Peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727-2013)

2.2 Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan di atas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut:

2.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Berat dari seluruh bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk berat bahan dan konstruksi dan berat peralatan tetap, yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu sesuai SNI 1727-2013.

2.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama

masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Ke dalam beban hidup tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup yang digunakan tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam **tabel 4-1 SNI 1727-2013**.

2.2.3 Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin ditentukan dengan menggunakan Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) (prosedur pengarah) bagian 1 untuk bangunan gedung dari semua ketinggian. Prosedur ini perlu memisahkan beban angin yang diterapkan ke dinding di sisi angin datang, di sisi angin pergi, dan sisi angin tepi. Besarnya tekanan angin datang, tekanan angin pergi dan tekanan angin tepi tersebut dinyatakan dalam kg/m^2 . Ditentukan oleh hasil pengurangan antara hasil perkalian tekanan velositas dengan koefisien tekanan eksternal dan hasil perkalian tekanan velositas dengan koefisien tekanan internal, yang ditentukan pada **pasal 27.2 sesuai SNI 1727-2013**.

Perhitungan untuk menentukan p angin datang, pergi dan tepi adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain.

Tabel 2. 1 Kategori Resiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es

| Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan | I |
| Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV | II |
| Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. | III |
| Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan. | |
| Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis. | |
| Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. | IV |
| Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. | |
| Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis ⁹ . | |
| Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya. | |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 1.5-1

2. Menentukan kecepatan angin dasar V sesuai **SNI 1727-2013 pasal 26.5**

Kecepatan angin dasar, V yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang.

3. Menentukan parameter beban angin

- a. Faktor arah angin, K_d sesuai **SNI 1727-2013 pasal 26.6** sesuai dengan bangunan gedung SPBAU. Faktor arah angin K_d harus ditentukan dari tabel berikut:

Tabel 2. 2 Faktor Arah Angin, K_d

| Tipe Struktur | Faktor Arah Angin K_d^a |
|---|---------------------------|
| Bangunan Gedung Sistem Penahan Beban Angin Utama Komponen dan Klading Bangunan Gedung | 0,85 0,85 |
| Atap Lengkung | 0,85 |
| Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama | |
| Segi empat | 0,90 |
| Segi enam | 0,95 |
| Bundar | 0,95 |
| Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebandan papan reklame terikat | 0,85 |
| papan reklame terbuka dan kerangka kisi | 0,85 |
| Rangka batang menara | |
| Segi tiga, segi empat, persegi panjang | 0,85 |
| Penampang lainnya | 0,95 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1

- b. Kategori eksposur sesuai **SNI 1727-2013 pasal 26.7.2**
Kategori kekasaran permukaan harus ditentukan apakah termasuk kekasaran permukaan B,C atau D.

- c. Faktor topografi, K_{zt} sesuai **SNI 1727-2013 pasal 26.8.2**

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} sesuai persamaan berikut:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \dots\dots\dots(1)$$

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam pasal 26.8.1. maka $K_{zt} = 1$

- d. Faktor efek tiup angin G sesuai **SNI 1727-2013 pasal 26.9**

Faktor efek tiup angin untuk suatu bangunan gedung yang kaku boleh diambil sebesar 0.85. untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung adalah kaku atau fleksibel, maka dapat dilihat dari nilai frekuensi alami perkiraan n_a yang boleh dihitung sesuai **pasal 26.9.3** untuk bangunan beton bangunan

rangka-penahan-momen yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Tinggi bangunan kurang dari atau sama dengan 300 ft (91 m), dan
2. Tinggi bangunan kurang dari 4 kali panjang efektifnya, L_{eff}

Tabel 4.3 Perhitungan L_{eff}

$$L_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i L_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

h_i adalah tinggi di atas kelas level i

L_i adalah panjang bangunan gedung di level i sejajar dengan arah angin

Jika memenuhi persyaratan tersebut, maka digunakan persamaan 26.9-3 dalam pasal 26.9.3 untuk beton bangunan rangka penahan momen:

$$n_a = 43.5/h^{0.9} \dots\dots\dots(3)$$

Setelah didapatkan hasil n_a , maka dapat ditentukan apakah bangunan gedung tersebut termasuk bangunan kaku atau bangunan fleksibel

- e. **Klasifikasi ketertutupan sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.10**

Semua bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, tertutup sebagian, atau terbuka.

- f. **Koefisien tekanan internal, GC_{pi} sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.11**

Koefisien tekanan internal (GC_{pi}) harus ditentukan sesuai tabel berikut:

Tabel 2. 3 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})

| Klasifikasi Ketertutupan | (GC_{pi}) |
|-----------------------------------|------------------|
| Bangunan gedung terbuka | 0,00 |
| Bangunan gedung tertutup sebagian | + 0,55 - 0,55 |
| Bangunan gedung tertutup | + 0,18 - 0,18 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.11-1

4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h sesuai **SNI 1727-2013 pasal 27.3.1**

Berdasarkan kategori eksposurnya, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h , harus ditentukan dalam tabel berikut melalui perhitungan interpolasi.

Tabel 2. 4 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z

| Tinggi di atas level tanah, z | | Eksposur | | |
|-------------------------------|---------|----------|------|------|
| | | B | C | D |
| ft | (m) | | | |
| 0-15 | (0-4,6) | 0,57 | 0,85 | 1,03 |
| 20 | (6,1) | 0,62 | 0,90 | 1,08 |
| 25 | (7,6) | 0,66 | 0,94 | 1,12 |
| 30 | (9,1) | 0,70 | 0,98 | 1,16 |
| 40 | (12,2) | 0,76 | 1,04 | 1,22 |
| 50 | (15,2) | 0,81 | 1,09 | 1,27 |
| 60 | (18) | 0,85 | 1,13 | 1,31 |
| 70 | (21,3) | 0,89 | 1,17 | 1,34 |
| 80 | (24,4) | 0,93 | 1,21 | 1,38 |
| 90 | (27,4) | 0,96 | 1,24 | 1,40 |
| 100 | (30,5) | 0,99 | 1,26 | 1,43 |
| 120 | (36,6) | 1,04 | 1,31 | 1,48 |
| 140 | (42,7) | 1,09 | 1,36 | 1,52 |
| 160 | (48,8) | 1,13 | 1,39 | 1,55 |
| 180 | (54,9) | 1,17 | 1,43 | 1,58 |
| 200 | (61,0) | 1,20 | 1,46 | 1,61 |
| 250 | (76,2) | 1,28 | 1,53 | 1,68 |
| 300 | (91,4) | 1,35 | 1,59 | 1,73 |
| 350 | (106,7) | 1,41 | 1,64 | 1,78 |
| 400 | (121,9) | 1,47 | 1,69 | 1,82 |
| 450 | (137,2) | 1,52 | 1,73 | 1,86 |
| 500 | (152,4) | 1,56 | 1,77 | 1,89 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 27.3-1

Koefisien eksposur tekanan velositas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:

$$K_z = 2,01 \left(z/z_g \right)^{2/\alpha} \dots\dots\dots(4)$$

α dan Z_g ditabulasi dalam tabel berikut:

Tabel 2. 5 Konstanta Eksposur Daratan

| Eksposur | α | Z_g (ft) | a | b | $\bar{\alpha}$ | \bar{b} | c | z (ft) | \bar{z} | Z_{min} (m)* |
|----------|----------|------------|--------|------|----------------|-----------|------|----------|-----------|----------------|
| B | 7,0 | 365,76 | 1/7 | 0,84 | 1/4,0 | 0,45 | 0,30 | 97,54 | 1/3,0 | 9,14 |
| C | 9,5 | 274,32 | 1/9,5 | 1,00 | 1/6,5 | 0,65 | 0,20 | 152,4 | 1/5,0 | 4,57 |
| D | 11,5 | 213,36 | 1/11,5 | 1,07 | 1/9,0 | 0,80 | 0,15 | 198,12 | 1/8,0 | 2,13 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1

Dari dua nilai K_z tersebut dipilih nilai yang terbesar.

5. Menentukan tekanan velositas q atau q_h sesuai **SNI 1727-2013 pasal 27.3.2**

Tekanan velositas q_z dapat ditentukan dari formula berikut:

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 \dots\dots\dots(5)$$

6. Menentukan koefisien tekanan eksternal, C_p atau C_N sesuai **SNI 1727-2013 pasal 27.3.2**

L : dimensi horizontal bangunan gedung, diukur sejajar terhadap arah angin

B : dimensi horizontal bangunan gedung, diukur tegak lurus terhadap arah angin

Nilai L dan B ini dibandingkan, koefisien tekanan eksternal, C_p didapatkan dari interpolasi tabel berikut:

Tabel 2. 6 Koefisien tekanan eksternal, C_p

| Permukaan | L/B | C_p | Digunakan dengan |
|------------------------------|---------------|-------|------------------|
| Dinding di sisi angin datang | Seluruh nilai | 0,8 | q_z |
| Dinding di sisi angin pergi | 0 – 1 | - 0,5 | q_n |
| | 2 | - 0,3 | |
| | ≥ 4 | - 0,2 | |
| Dinding tepi | Seluruh nilai | - 0,7 | q_n |

Sumber: SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1

7. Menghitung tekanan angin p pada setiap permukaan bangunan gedung sesuai **SNI 1727-2013 pasal 27.4**
Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung dari semua ketinggian harus ditentukan persamaan berikut:

$$\text{Angin datang} = q_z \cdot GC_p \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Angin pergi} = q_z \cdot GC_p \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Angin datang} = q_z \cdot GC_p \quad \dots\dots\dots(8)$$

8. Distribusi beban angin

Beban angin datang, pergi dan tepi didistribusikan ke arah X dan Y sesuai dengan luasan bidang yang dibebankan ke kolom tersebut.

2.2.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Pengaruh beban gempa, E , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E = E_h + E_v \quad \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

E : pengaruh beban gempa

E_h : pengaruh beban gempa horizontal

E_v : pengaruh beban gempa vertikal

1. Pengaruh beban gempa vertikal, E_v , harus ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$E_v = 0.2 S_{DS}D \quad \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

S_{DS} : parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda yang diperoleh

D : Pengaruh beban mati

Beban gempa vertikal ini langsung bisa diinput dalam kombinasi program analisa struktur.

2. Pengaruh beban horizontal, E_h , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

Q_E : pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p . Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

ρ : factor redundansi, seperti didefinisikan dalam **SNI 1726-2012 pasal 7.3.4**, dimana nilai ρ diijinkan sama dengan 1,0 bila struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C.

Berikut prosedur perhitungan gaya lateral ekivalen:

Gaya lateral ekivalen yang berkeja pada gedung atau bagian gedung menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut.(SNI 03-1726-2012). Beban geser nominal statik ekivalen yang terjadi di tekanan dasar dapat dihitung menurut persamaan :

$$V = C_s \times W \quad \dots\dots\dots(12)$$

Dimana C_s adalah nilai koefisien seismik, dan W_t adalah berat bangunan yang terjadi akibat beban hidup dan beban mati bangunan. Sedangkan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Perhitungan untuk menentukan C_s adalah sebagai berikut :

1. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata – rata (\bar{N}_{SPT}) sesuai SNI 1726-2012.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}} \dots\dots\dots(13)$$

2. Dari nilai \bar{N}_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel berikut sesuai SNI 1726-2012

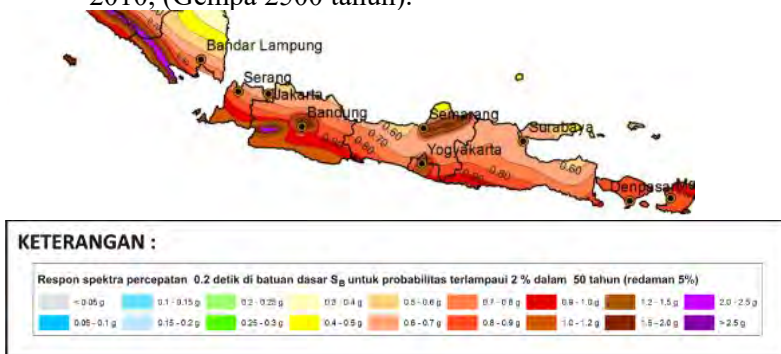
Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs

| Kelas Situs | \bar{v}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{s}_u (kPa) |
|---|---|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350 sampai 750 | >50 | ≥ 100 |
| SD (Tanah Sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (Tanah Lunak) | <175 | <15 | <50 |
| | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa | | |

| | |
|--|---|
| <p>SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik – situs yang mengikuti 6.10.1)</p> | <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa |
|--|---|

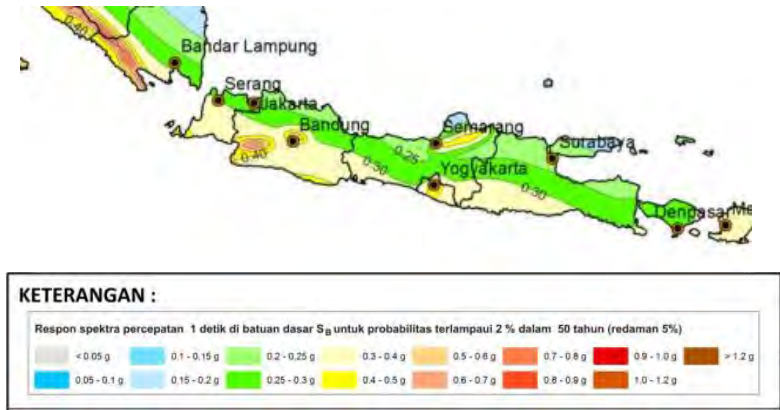
Sumber SNI 1726-2012 Tabel 3

3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s pada gambar 2.1 dan S_1 pada gambar 2.2 berdasarkan PETA *HAZARD* GEMPA INDONESIA 2010, (Gempa 2500 tahun).



Gambar 2. 1 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 detik (S_s) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun

Sumber : Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 hal. 14



Gambar 2. 2 Peta Respon Spektra Percepatan 0.1 detik (S_1) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun
Sumber : Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 hal. 15

4. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan tabel berikut sesuai SNI 1726-2012.

Tabel 2. 8 Koefisien Situs, F_a

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | SS^b | | | | |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 4

Tabel 2. 9 Koefisien Situs, Fv

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada perioda pendek, T = 1 detik, S _I | | | | |
|----------------|---|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | S _I ≤ 0,25 | S _I = 0,5 | S _I = 0,75 | S _I = 1,0 | S _I ≥ 1,25 |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | SS ^b | | | | |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 5

5. Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 0,2 detik (S_{MS}) sesuai SNI 1726-2012

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad \dots\dots\dots(14)$$

6. Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}) sesuai SNI 1726-2012.

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad \dots\dots\dots(15)$$

7. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 0,2 detik sesuai SNI 1726-2012.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad \dots\dots\dots(16)$$

8. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik sesuai SNI 1726-2012.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots\dots\dots(17)$$

9. Kemudian menentukan besar batasan periode fundamental struktur (T), dimana T tidak boleh melebihi

hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari tabel 2.4 dan perioda fundamental pendekatan, (T_a). Perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad \dots\dots\dots(18)$$

Dimana:

h_n = Ketinggi bangunan (m)

Tabel 2. 10 Koefisien untuk Batas Atas Pada Perioda yang Dihitung

| Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1} | Koefisien C_u |
|---|-----------------------------------|
| $\geq 0,4$ | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| $\leq 0,1$ | 1,7 |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 14

Tabel 2. 11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

| Tipe struktur | C_t | x |
|--|-------------------------|-----------------------|
| Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa: | | |
| Rangka baja pemikul momen | 0,0724 | 0,8 |
| Rangka beton pemikul momen | 0,0466 | 0,9 |
| Rangkaka baja dengan bresing eksentris | 0,0731 | 0,75 |
| Rangka baja denga bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731 | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488 | 0,75 |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 15

Periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

Jika $T_c > C_u T_a$ gunakan $T = C_u T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

Dengan T_c = periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

10. Menentukan Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan sesuai SNI 1726-2012

Tabel 2. 12 Kategori Risiko

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik | II |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 1

Tabel 2. 13 Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa (I) |
|-----------------|--------------------------------|
| I atau II | 1,0 |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 2

11. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (R) sesuai SNI 1726-2012

Tabel 2. 14 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

| Sistem Penahan Gaya Seismik | Koefisien Modifikasi Respon, R | Faktor Kuat-lebih sistem, Ω_0 | Faktor Pembesaran Defleksi, C_d | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|----|----|----|----|
| | | | | Kategori Desain Seismik | | | | |
| | | | | B | C | D | E | F |
| 6. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah | 5 | 3 | 4,5 | TB | TB | TI | TI | TI |

Sumber SNI 1726-2012 Tabel 9

12. Menentukan nilai C_s dari persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad \text{.....(19)}$$

Tetapi nilai C_s tidak boleh melebihi dari persamaan berikut

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad \text{.....(20)}$$

Dan harus lebih besar dari

$$C_s = 0,044.SDS.I_e \quad \text{.....(21)}$$

Beban geser dasar nominal V dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung tersebut dan menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan :

$$F_x = C_{vx} \times V \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad \dots\dots\dots(23)$$

2.3 Komponen Tulangan Lentur Beton Bertulang

2.3.1 Persyaratan Komponen Lentur

1. Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) untuk komponen struktur lentur tidak melebihi $A_g \cdot f_c' / 10$. Apabila P_u lebih besar, maka detail tulangan harus dianalisis dengan perhitungan kolom (**pasal 21.3.2 SNI 2847-2013**)
2. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint (**pasal 21.3.4 SNI 2847-2013**).
3. Pelindung beton sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1**

Tabel 2. 15 Pelindung Beton untuk Tulangan

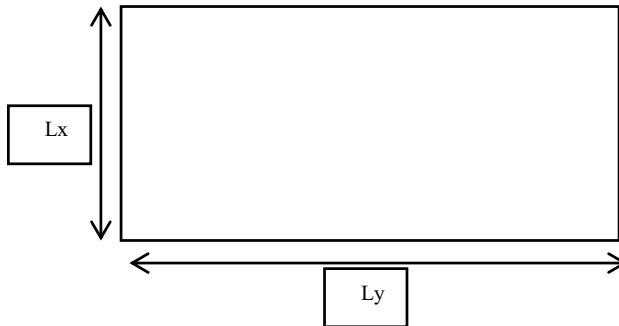
| | Tebal selimut Minimum (mm) |
|---|----------------------------|
| a) Beton yang dicor diatas dan selalu berhubungan dengan tanah | 75 |
| b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca : Batang D-19 hingga D-57 Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil | 50 40 |
| c) Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau berhubungan dengan tanah : <u>Pelat, dinding, balok usuk :</u> Batang D-44 dan D-57 | 40 |

| | |
|--|----|
| Batang D-36 dan yang lebih kecil | 20 |
| <u>Balok, kolom :</u> | |
| Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral | 40 |
| <u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat :</u> | |
| Batang D-19 dan yang lebih besar | 20 |
| Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos dan yang lebih kecil | 13 |

Sumber SNI 2847-2013 Pasal 7.71

4. Tebal Dimensi

- Dimensi Balok dan pelat satu arah



Gambar 2. 3 Dimensi Bidang Pelat 1 Arah

Apabila, $\frac{Ly}{Lx} > 2$, maka termasuk ke dalam pelat satu arah

Pelat satu arah atau disebut konstruksi satu arah non prategang diatur pada **SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.** dan ketebalan minimum untuk pelat satu arah telah diatur pada table berikut sesuai SNI 2847-2013.

Tabel 2. 16 Tebal Minimum Balok Non-Prategang Atau Pelat Satu Arah

| Tebal minimum, h | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------|---------------------|------------|
| Komponen struktur | Dua tumpuan sederhana | Satu ujung menerus | Kedua ujung Menerus | Kantilever |
| | Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar | | | |
| Pelat masif satu arah | $l/20$ | $l/24$ | $l/28$ | $l/10$ |
| Balok atau pelat rusuk satu arah | $l/16$ | $l/18,5$ | $l/21$ | $l/8$ |

Sumber SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a)

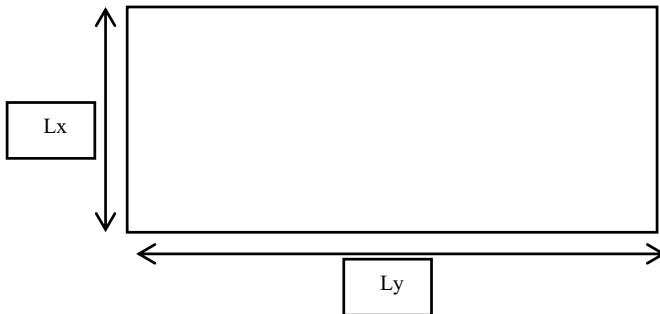
CATATAN :

Panjang bentang dalam mm

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut :

- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), W_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $[1,65 - 0,0003.w_c]$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
- Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

- Dimensi Pelat dua arah



Gambar 2. 4 Dimensi Bidang Pelat 2 Arah

Apabila $\frac{Ly}{Lx} < 2$, maka termasuk pelat dua arah

Pelat dua arah atau konstruksi dua arah non prategang diatur pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.3

- Tebal minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut sesuai SNI 2847-2013.
 - a. Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan pasal 9.5.3.2, dimana tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua, harus memenuhi tabel 9.5(c) dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :
 1. Pelat tanpa penebalan > 125 mm
 2. Pelat dengan penebalan > 100 mm

Tabel 2. 17 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

| Tegangan leleh f_y Mpa ^b | Tanpa penebalan ^c | | | Dengan penebalan ^c | | |
|---|------------------------------|---|----------------|-------------------------------|---|----------------|
| | Panel luar | | Panel dalam | Panel luar | | Panel dalam |
| | Tanpa balok pinggir | Dengan balok pinggir ^d | | Tanpa balok pinggir | Dengan balok pinggir ^d | |
| 280 | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/40$ | $l_n/40$ |
| 420 | $l_n/30$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ |
| 520 | $l_n/28$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/34$ | $l_n/34$ |
| i. Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain. ii. Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier. iii. Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5 iv. Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8 | | | | | | |

Sumber SNI 2847-2013 Tabel 9.5(c)

- b. Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tidak lebih dari 2h, ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan berikut sesuai SNI 2847-2013.

$$h = \frac{ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)} \quad \dots\dots\dots(24)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- c. Untuk α_m lebih besar dari 2h, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut sesuai SNI 2847-2013.

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad \dots\dots\dots(25)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana :

l_n = Panjang bentang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok

f_y = Tegangan leleh

β = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat

α_m = Nilai rata – rata dari α untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel

α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} > 1,0 \quad \dots\dots\dots(26)$$

dimana :

E_c = modulus elastisitas beton

E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok

I_s = momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat

$$\text{Apabila } E_{cb} = E_{cs} ; \text{ maka } \alpha = \frac{I}{I_s} \quad \dots\dots\dots(27)$$

Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_l tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan 9.12 dan 9.13 harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus sesuai SNI 2847-2013.

2.3.2 Analisa Gaya Dalam Komponen Lentur

1. Analisis gaya untuk balok dan pelat satu arah metode analisis

Momen-momen balok akibat beban terbagi rata q per satuan panjang balok, dapat ditetapkan sebagai berikut sesuai PBBI 1971 pasal 13.2.3

$$\text{Momen} = \text{koefisien} \times q l^2 \quad \dots\dots\dots(28)$$

Dengan menggunakan *koefisien momen* sesuai **SNI 03-2847-2013 Pasal 8.1.3** maka :

- ❖ Momen negatif pada sisi dalam tumpuan ujung :

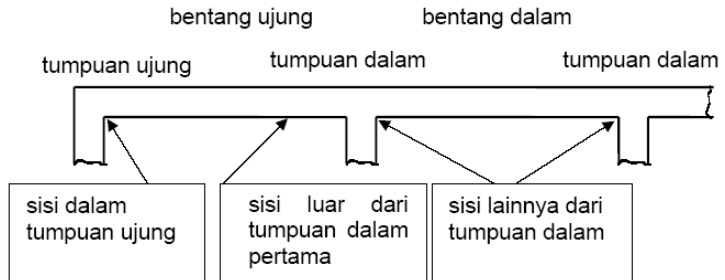
$$\frac{q_u \times l_n^2}{24}$$

- ❖ Momen positif pada tumpuan ujung : $\frac{q_u \times l_n^2}{14}$

- ❖ Momen negatif pada sisi luar dari tumpuan dalam pertama : $\frac{q_u \times l_n^2}{10}$

- ❖ Momen positif pada bentang dalam : $\frac{q_u \times l_n^2}{16}$

- ❖ Momen negatif pada sisi-sisi lain dari tumpuan-tumpuan dalam : $\frac{q_u \times l_n^2}{11}$



Gambar 2. 5 Terminologi Balok / Pelat Satu Arah Di Atas Banyak Tumpuan

Pada balok dalam menganalisis gaya-gaya yang terjadi bisa menggunakan program bantu SAP 2000.

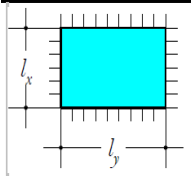
2. Pelat dua arah

Untuk mengetahui pelat tanpa balok tepi, pelat dengan balok tepi fleksibel ataupun pelat dengan balok tepi kaku dapat dilihat besarnya nilai rata-rata rasio kekakuan pelat dengan balok (α_m) sesuai buku desain Beton Bertulang oleh Chua-Kia Wang dan Charles G. Salmon jilid 2, penerbit Erlangga tahun 1992, Jakarta.

Dalam buku Desain Beton Bertulang, oleh Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon jilid 2 disebutkan bahwa :

- $\alpha_m \leq 0.375$ sebagai tanpa balok tepi
- $1.875 > \alpha_m \geq 0.375$ sebagai balok tepi yang fleksibel
- $\alpha_m \leq 0.375$ sebagai balok tepi yang kaku

Setelah mendapatkan asumsi pada pelat dapat dicari momen yang terjadi dengan mengambil dari Tabel 13.3.1 PBI 1971. Apabila pelat terjepit penuh pada keempat sisinya, maka persamaan momennya seperti pada gambar dibawah ini.

| | |
|---|----------------------------------|
|  | $M_{l_x} = + 0.001 \ q.l_x^2 .X$ |
| | $M_{l_y} = + 0.001 \ q.l_x^2 .X$ |
| | $M_{t_x} = + 0.001 \ q.l_x^2 .X$ |
| | $M_{t_y} = + 0.001 \ q.l_x^2 .X$ |

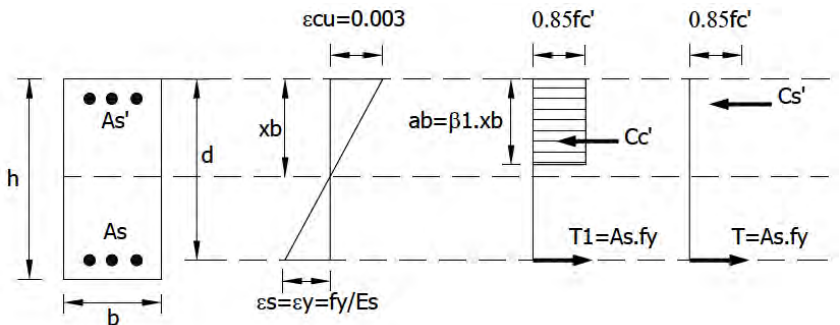
Gambar 2. 6 Momen Pelat

2.3.3 Penulangan Lentur

1. Penulangan lentur rangkap

Lentur tulangan rangkap merupakan salah satu metoda atau cara perencanaan tulangan lentur yang mana kemampuan penampang untuk memikul lentur merupakan kombinasi dari tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s') dikalikan lengannya.

Adapun langkahnya bisa dilakukan dengan melakukan coba-coba garis netral (x) sampai dengan tulangan tarik sudah tidak mampu lagi untuk memikul momen akibat beban luar, sehingga diperlukan adanya tulangan tekan



Gambar 2. 7 Lentur Tulangan Rangkap

Langka perhitungan:

1. Tentukan nilai momen tumpuan dan lapangan pada balok (dari hasil output SAP 200).
2. Rencanakan f_y , f_c' , d , d' , dan d'' .
3. Menentukan x rencana, $x_{\min} < x_{\text{rencana}} < x_{\max}$
 $X_{\max} = 0,75.b$
 $X_{\min} = d' = \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul.utama}$

4. Gaya tekan maksimum

$$(C_{\max}) = 0.85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X \quad \dots\dots\dots (29)$$

5. As maksimum tulangan tunggal

$$(A_{sc}) = C_{\max}/f_y \quad \dots\dots\dots (30)$$

6. M_n maksimum tulangan tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \left(d - \frac{\beta_1 x}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (31)$$

7. Cek kebutuhan tulangan tekan

$$M_n - M_{nc} > 0 \text{ Perlu tulangan tekan}$$

$$M_n - M_{nc} \leq 0 \text{ Tidak perlu tulangan tekan}$$

Untuk $M_n - M_{nc} \leq 0$ analisis selanjutnya penulangan lentur balok menggunakan perhitungan tulangan tunggal

$$8. \text{Cs perlu} = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''}$$

9. Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x} \right) 600 \geq f_y \text{ Leleh } f_s' = f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x} \right) 600 < f_y \text{ tidak Leleh } f_s' = f_s'$$

10. Kebutuhan tulangan tekan perlu dan tulangan Tarik tambahan

$$As' = \frac{Cs \text{ perlu}}{fs' - 0.85 \times fc'} \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$Ass = \frac{T2}{fy} \quad \dots\dots\dots (33)$$

11. Kebutuhan tulangan tarik perlu

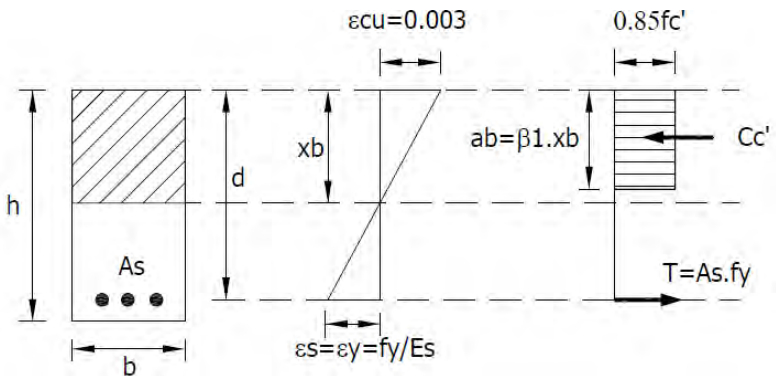
$$As = Asc + Ass \quad \dots\dots\dots (34)$$

12. Kontrol kekuatan

$$\phi Mn > Mu \quad \dots\dots\dots (35)$$

2. Lentur Tulangan Tunggal

Penulangan lentur tulangan tunggal memiliki pengertian tulangan terpasang hanya pada daerah yang mengalami tarik sedangkan pada daerah yang mengalami tekan hanya dipasang tulangan praktis. Penerapan lentur tulangan tunggal bisa pada elemen balok bisa juga untuk elemen pelat.



Gambar 2. 8 Lentur Tulangan Tunggal

Langka perhitungan:

1. Tentukan nilai momen tumpuan dan lapangan pada balok (dari hasil output SAP 200). Dan menentukan Mn

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad \text{SNI 03-2847-2013} \quad \dots\dots\dots (36)$$

2. Rencanakan f_y , f_c' , d , d' , dan d'' .

3. Menentukan ρ_{min} , ρ_b , ρ_{max}

SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \dots\dots\dots (37)$$

SNI-03-2847-2013 Lampiran B.8.4.2

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \dots\dots\dots (38)$$

SNI-03-2847-2013 Lampiran B.10.3.3

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \quad \dots\dots\dots (39)$$

4. Menentukan m dan R_n

Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.a

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \quad \dots\dots\dots (40)$$

Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.4.b

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad \dots\dots\dots (41)$$

5. Menghitung rasio tulangan Tarik perlu (ρ)

Wang, C. Salmon hal. 55 pers.3.8.5

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right] \quad \dots\dots\dots (42)$$

Menghitung kebutuhan tulangan Tarik perlu (A_s)

Wang, C. Salmon hal. 49 pers.3.5.1

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (43)$$

6. Kontrol Kekuatan

Wang, C. Salmon hal. 45 pers.3.4.2

$$\phi M_n > M_u$$

2.4 Penulangan Geser

Kekuatan geser nominal beton bertulang V_n pada dasarnya merupakan kombinasi kekuatan antara geser yang mampu dipikul beton V_c dengan kekuatan geser yang mampu dipikul oleh baja tulangan V_s atau dalam persamaan dapat ditulis sebagai berikut berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.1.

$$\phi V_n \geq V_u \quad \text{..... (44)}$$

dan

$$V_n = V_c + V_s \quad \text{..... (45)}$$

Nilai V_c :

1. Untuk struktur yang dikenai geser dan lentur saja berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1**

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'c'} \text{ bw d} \quad \text{.....(46)}$$

2. Untuk struktur yang dikenai tekan aksial berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.2.1**

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c'} \text{ bw d} \quad \text{.....(47)}$$

3. Untuk struktur yang dikenai tarik aksial , $V_c = 0$

Nilai V_s :

1. Spasi tulangan geser berdasar **SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5.1**

$$S \leq d/2$$

Dan untuk struktur non-prategang

$$S \leq 0,75 h \quad \text{atau} \quad S \leq 600 \text{ mm}$$

2. Tulangan geser minimum berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6**

$$A_v \min = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w S}{f_{yt}} \dots\dots\dots(48)$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\frac{0,35 b_w S}{f_{yt}} \dots\dots\dots(49)$$

3. Desain tulangan geser berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7**

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{S} \dots\dots\dots(50)$$

dan tidak boleh lebih besar dari :

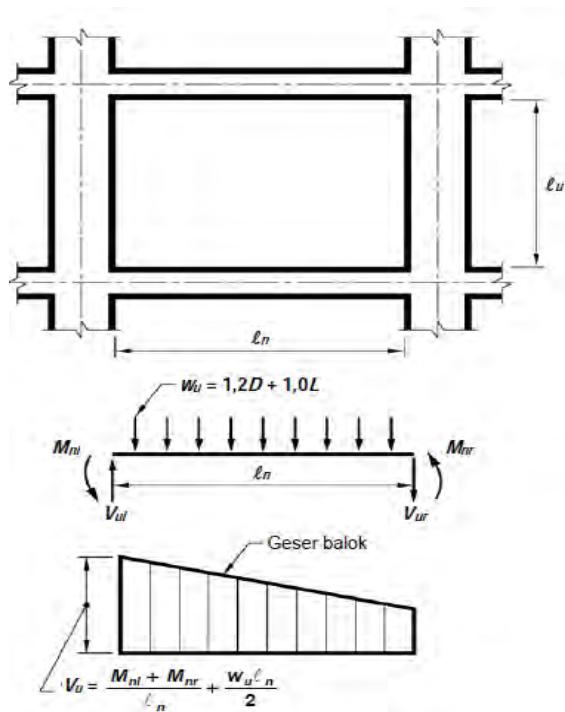
$$0,66 \sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots\dots(51)$$

- Spasi tulangan sengkang maksimum pada balok, berdasarkan **SNI 2847-2013 Pasal 21.3.4**, diambil yang terkecil dari
 - a. $D/4$
 - b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - c. 24 kali diameter tulangan sengkang
 - d. 300 mm

Nilai V_u :

Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} \cdot \frac{W_u L_n}{2} \dots\dots\dots(52)$$



Gambar 2. 9 Geser Desain Balok untuk Rangka Momen Menengah

- Cek kondisi perencanaan geser :

a) $V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$ (53)

Tidak perlu tulangan geser

b) $0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$ (54)

Perlu tulangan geser

$$A_{v_{\min}} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad \text{.....(55)}$$

$$V_{s \min} = 0.33 \times b_w \times d \quad \text{.....(56)}$$

Spasi tulangan geser maksimum :

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600\text{mm}$$

$$c) \quad \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{smin}) \quad \dots\dots\dots(57)$$

Tulangan geser maksimum

$$A_{vmin} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad V_{smin} = 0.33 \times b_w \times d$$

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600\text{mm}$$

$$d) \quad \phi (V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{smaks}) \quad \dots\dots\dots(58)$$

Tulangan geser maksimum

$$V_{sperlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad \dots\dots\dots(59)$$

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{sperlu}} \quad \dots\dots\dots(60)$$

$$S_{maks} \leq d/2 \leq 600\text{mm}$$

$$e) \quad \phi (V_c + V_{smaks}) \leq V_u \leq \phi (V_c + 2 V_{smaks}) \quad \dots\dots\dots(61)$$

Perlu tulangan geser

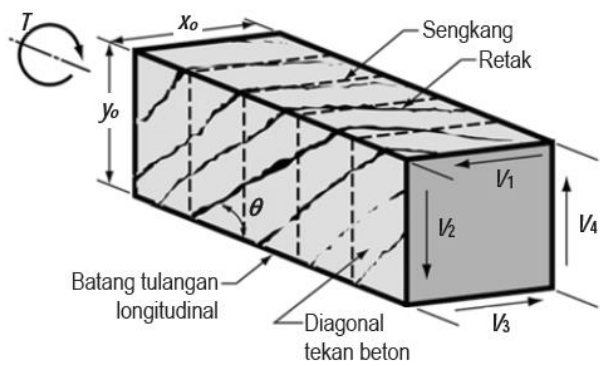
$$V_{sperlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{sperlu}}$$

$$f) \quad \text{Kondisi 6}$$

$$V_s > 2V_{smaks} \quad (\text{perbesar penampang})$$

2.5 Penulangan Torsi Balok



Gambar 2. 10 Analogi Tulangan Torsi

Penulangan torsi dipasang untuk menahan retak pada balok akibat momen puntir. Momen puntir dapat terjadi akibat tidak seimbangnya beban pelat pada kedua sisi balok tersebut. Untuk mencegah terjadinya retak, dalam perhitungan penulangan torsi harus memenuhi syarat momen puntir terfaktor pada penampang (T_u) harus lebih kecil atau sama dengan tahanan puntir terfaktor (ϕT_n)

$$\phi T_n \geq T_u \quad \dots\dots\dots(62)$$

SNI-03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5

- a. Untuk komponen struktur non-prategang

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \quad \dots\dots\dots(63)$$

- b. Untuk komponen struktur non-prategang

$$T_u \text{ max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad \dots\dots\dots(64)$$

- c. Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

Tumin > Tu → tidak memerlukan tulangan puntir

Tumin < Tu → memerlukan tulangan puntir

Tumin < Tu

- d. Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w.d}\right)^2 + \left(\frac{T_u.P_h}{1,7 A_o h}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_u}{B_w.d} + 0,66\sqrt{f_c}\right) \dots\dots\dots(65)$$

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi \dots\dots\dots(66)$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 x A_o x A_t x F_{yt}}{s} \cot^2 \phi \dots\dots\dots(67)$$

Nilai ϕ tidak boleh diambil lebih kecil dari 30 derajat ataupun lebih besar dari 60 derajat. ϕ boleh diambil dengan ketentuan :

- a. 45 derajat untuk komponen struktur non-prategang atau komponen struktur dengan prategang kurang dari dalam (b); atau
- b. 37.5 derajat untuk komponen struktur dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40 persen kekuatan tulangan longitudinal.

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_{ox} F_{yt} \cot^2 \phi} \dots\dots\dots(68)$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \times Ph_x \left(\frac{F_{yv}}{F_{yt}} \right) \cot^2 \phi \dots\dots\dots(69)$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \frac{F_{yv}}{F_{yt}} \dots\dots\dots(70)$$

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \leq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ min}$

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ perlu}$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} \dots\dots\dots(71)$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

2.6 Penulangan Kolom

Kolom merupakan elemen penyangga yang dipasang secara vertikal yang berfungsi memikul beban-beban yang bekerja pada suatu struktur. Sehingga keruntuhan kolom lebih berbahaya daripada keruntuhan balok.

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 10.3.7** : Komponen yang dibebani aksial tekan harus didesain terhadap momen maksimum yang mungkin menyertai beban aksial.

2.6.1 Perencanaan Dimensi Kolom

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}} \dots\dots\dots(72)$$

2.6.2 Penulangan Lentur Kolom

Urutan perhitungan penulangan lentur kolom sebagai berikut:

1. Bedakan kolom dengan pengaku (*braced frame*) atau kolom tanpa pengaku (*unbraced frame*).
2. Hitung faktor kekakuan (EI) kolom.

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \dots\dots\dots(73)$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \dots\dots\dots(74)$$

Keterangan :

E_c = modulus elastis beton = $4700\sqrt{f'c}$ MPa

I_g = momen inersia penampang kolom

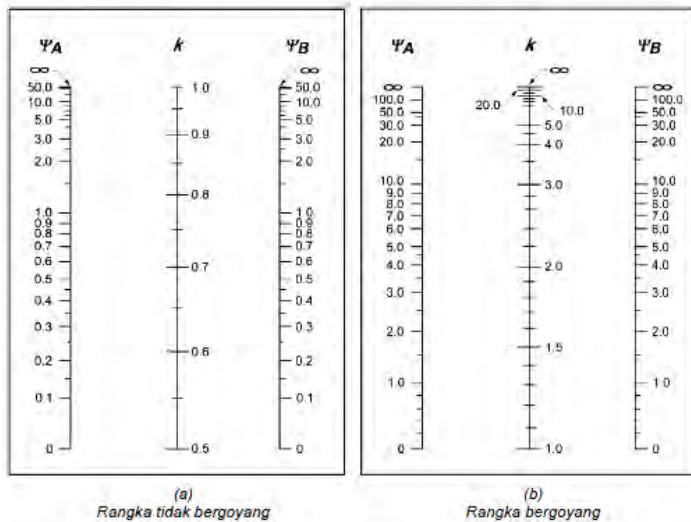
β_d = Ratio dari beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum

3. Hitung faktor kekangan ujung-ujung kolom (ψ_A) dan (ψ_B) berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7**

Faktor kekangan ujung dalam hal ini didefinisikan sebagai ratio antara sigma kekakuan dibagi panjang kolom-kolom dengan sigma kekakuan dibagi panjang balok-balok pada simpul tinjauan

$$\psi = \frac{(EI/\lambda)_{\text{kolom}}}{(EI/\lambda)_{\text{balok}}} \dots\dots\dots(75)$$

4. Hitung faktor panjang efektif (k)
Dalam penerapannya dipergunakan tabel nomogram pada **pasal 10.10.7.2**



Ψ = adalah rasio $\Sigma(EI/\ell_c)$ komponen struktur tekan terhadap $\Sigma(EI/\ell)$ komponen struktur lentur dalam suatu bidang di salah satu ujung komponen struktur tekan
 ℓ = panjang bentang komponen struktur lentur yang diukur pusat ke pusat pertemuan (joint)

Gambar 2. 11 Faktor Panjang Efektif (k)

5. Kontrol kelangsingan

Pada saat perencanaan elemen kolom perlu ditetapkan apakah kolom yang kita rencanakan tergolong kolom pendek apakah kolom langsing. Untuk itu perlu dilakukan kontrol sebagai berikut :

Untuk komponen struktur tekan yang tidak di breising terhadap goyangan menyamping

$$\frac{k \times L_u}{r} \leq 22 \quad \dots\dots\dots(76)$$

6. Apabila ternyata kolom langsing, hitung P_c (beban kritis) kolom-kolom yang bersangkutan. Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6**

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{\text{kolom}}}{(k.Lu)^2} \dots\dots\dots(77)$$

Keterangan :

EI = kekakuan kolom

k = faktor panjang efektif

Lu = panjang bersih kolom

7. Hitung faktor pembesaran momen (δ_s dan δ_{ns})

Untuk struktur bergoyang berdasarkan **SNI 2847-2013**
Pasal 10.10.7

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \dots\dots\dots(78)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \dots\dots\dots(79)$$

Dimana,

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum Pu}{0.75 \sum P_c}} \geq 1 \dots\dots\dots(80)$$

8. Perhitungan penulangan lentur

Hitung:

- ❖ Tentukan nilai β
- ❖ Nilai M_{ux} dan M_{uy} (nilai terbesar dari M_1 dan M_2)
- ❖ Mencari ρ perlu dari diagram interaksi

Sumbu Vertikal

$$\frac{\Phi.P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} \dots\dots\dots(81)$$

Sumbu Horisontal

$$\frac{\Phi.M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} \dots\dots\dots(82)$$

- ❖ As perlu = $\rho_{\text{perlu}} \times b \times h$
- ❖ Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luas tulangan}}$$

❖ Cek tulangan terpasang

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

❖ Cek kondisi balance

Syarat :

$$P > P_b$$

Cek Syarat:

$$M_n \text{ Terpasang} > M_n$$

❖ Kontrol jarak spasi tulangan

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{Susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{Perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times \phi_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

❖ Cek dengan program PCA Column

Cek dengan program PCA Column

Syarat:

$$M_{ux} < M_{nx} \text{ (Memenuhi)}$$

$$M_{uy} < M_{ny} \text{ (Memenuhi)}$$

Cek persyaratan persen tulangan terpasang

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{\text{Luas Penampang}} \times 100\%$$

.....(83)

$$\% \text{ Tulangan terpasang} < 8\%$$

2.6.3 Penulangan Geser Kolom

Tulangan geser merupakan tulangan yang digunakan untuk menahan gaya geser.

Untuk mendapatkan nilai V_u pada kolom dapat diperoleh dari rumus:

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u} \dots\dots\dots(84)$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5)

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas (top) kolom

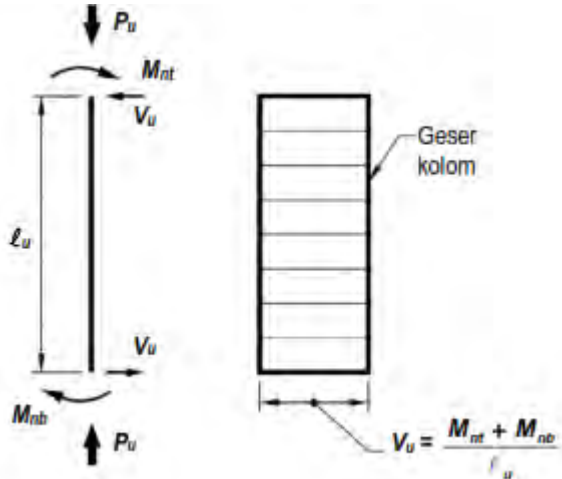
M_{nb} = momen nominal bawah (bottom) kolom

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2**

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \dots\dots\dots(85)$$

Kekuatan geser tulangan sengkang dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \dots\dots\dots(86)$$



Gambar 2. 12 Gaya Lintang pada Kolom

Sedangkan untuk pengecekan kondisi tulangan geser pada kolom menggunakan prinsip perhitungan sama dengan pada penulangan geser balok

2.6.4 Ketentuan-ketentuan Perhitungan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.5)

1. Pada **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.1** ditentukan bahwa kolom harus ditulangi secara spiral. Tulangan spiral harus terdiri dari batang tulangan atau kawat menerus yang berspasi sama. Untuk konstruksi cor di tempat, ukuran spiral tidak boleh melebihi dari diameter 10 mm. Ukuran spasi bersih antar spiral memiliki batasan yaitu tidak boleh melebihi 75 mm, atau tidak kurang dari 25 mm.
2. Persyaratan spasi sengkang
Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2.** pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi (*So*) dengan panjang *lo* diukur dari muka joint. Spasi (*So*) tidak boleh melebihi yang terkecil dari :
 - a. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
 - b. 24 kali diameter batang tulangan begel
 - c. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
 - d. 300 mm

Sedangkan panjang *lo* tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:

- a. Seperenam bentang bersih kolom
 - b. Dimensi penampang maksimum kolom
 - c. 450 mm
3. Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.3.** Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $So/2$ dari muka joint.
4. Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.6.** kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak

menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi ***So***, seperti didefinisikan dalam **21.3.5.2** sepanjang tinggi penuh dibawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa melebihi ***Agfc'/10***. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas ***Agfc'/10*** harus ditingkatkan menjadi ***Agfc'/4***.

2.7 Perencanaan Pondasi

Perencanaan struktur pondasi menggunakan pondasi borpile. Data tanah yang digunakan adalah data hasil uji SPT. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan pondasi dalam adalah sebagai berikut:

2.7.1 Daya Dukung Aksial Pondasi Borpile

- A. Gaya Geser Maksimum Dinding Tiang Borpile (R_f)

$$R_f = U_p \times \Sigma (l_i \times f_i) \dots\dots\dots(87)$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 100 persamaan 6.6 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Dimana:

U_p = Keliling tiang (m)

l_i = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m²)

- B. Daya Dukung pada Ujung Tiang Borpile

$$R_t = q_d \times A \dots\dots\dots(88)$$

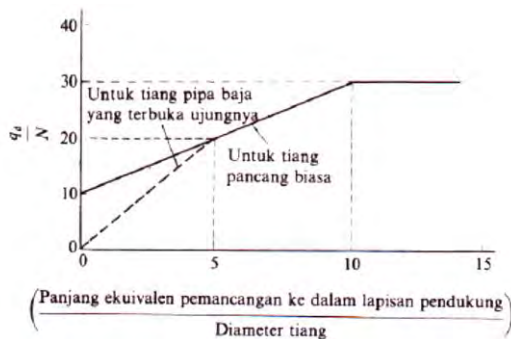
(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 100 persamaan 6.6 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Dimana:

q_d = daya dukung terpusat tiang (ton)

A = Luas ujung tiang (m^2)

Perkiraan satuan (*unit*) daya dukung terpusat q_d diperoleh dari hubungan Antara L/D dan q_d/N pada gambar berikut:



Gambar 2. 13 Diagram Perhitungan dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi pada Ujung Tiang
Sumber Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)
Gambar 6.7 hal 101

L adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung, N adalah harga rata-rata N pada ujung tiang.

$$N = (N_1 + N_2)/2 \quad \dots\dots\dots(89)$$

Dimana:

N_1 = Harga N pada ujung tiang

N_2 = Harga rata-rata N pada jarak $4D$ pada ujung tiang

C. Daya Dukung Ultimate Tiang (R_u)

$$R_u = R_f + R_t \quad \text{.....(90)}$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 100 persamaan 6.6 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

D. Daya Dukung Ijin Tiang (R_a)

$$R_a = 1/SF \times (R_u - W_p) \quad \text{.....(91)}$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 100 persamaan 6.5- 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Dimana:

SF = faktor keamanan, 3 untuk tiang pendukung
(standar jembatan di Jepang)

W_p = Berat per titik tiang (ton/tiang)

$$R_a(s) = R_a \times 150\% \quad \text{.....(92)}$$

Keterangan:

Karena tanah keras, maka dinaikkan 50% (**PPIUG 1983 pasal 1.2(2) Tabel 1.1**)

2.7.2 Daya Dukung Horisontal Pondasi Tiang Bor

A. Koefisien Reaksi Tanah Dasar (k), Modulus Elastisitas Tanah, Deformasi Tiang di Dasar Pile Cap (y)

$$k = 0.2 \times E_o \times D^{-0.75} \times y^{-0.5} \quad \text{.....(93)}$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 109 persamaan 6.14 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Dimana:

E_o = Modulus deformasi tanah pondasi, biasanya $E_o=28N$ dengan memakai harga N dari percobaan penetrasi standar.

D = Diameter tiang (cm)

y = Deformasi horizontal ijin (cm)

$$\beta = (kD/(4EI))^{0.25} \dots\dots\dots(94)$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 118 tabel 6.11 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Dimana:

EI = Kekakuan lentur dari tiang (kg/cm^{-1})

B. Virtual Fixity Point (l_m)

$$l_m = \pi/(2\beta) \dots\dots\dots(95)$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 118 tabel 6.11 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Jika tiang tenggelam di tanah ($h=0$) dan jika kepala tiang tidak berputar

C. Daya Dukung Gaya Horizontal Tiang Tegak (H_a), untuk Pergeseran Sebesar “ y ”

$$H_a = (k.D.y)/\beta \dots\dots\dots(96)$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 106 persamaan 6.8 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

D. Daya Dukung Momen Lentur pada Kepala Tiang (M_a)

$$M_a = H_a/2\beta \dots\dots\dots(97)$$

(Kazuto Nakazawa - Suyono Sosrodarsono (Mekanika Teknik & Teknik Pondasi hal 118 tabel 6.11 - 1990, judul asli : Soil Mechanics And Foundation Engineering)

Jika tiang tenggelam di tanah ($h=0$) dan jika kepala tiang tidak berputar

2.7.3 Kapasitas Cabut Tiang (R_c)

$$R_c = 1/SF \times (R_f + W_p) \quad \dots\dots\dots(98)$$

Dimana:

R_f = Gaya geser dinding tiang (ton)

SF = faktor keamanan, 3 untuk tiang pendukung
(standar jembatan di Jepang)

W_p = Berat per titik tiang (ton/tiang)

$$R_c(s) = R_c \times 150\% \quad \dots\dots\dots(99)$$

Keterangan:

Karena tanah keras, maka dinaikkan 50% (**PPIUG 1983 pasal 1.2(2) Tabel 1.1**)

2.7.4 Perhitungan Kebutuhan Tiang Borpile

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban tegangan ijin.

$$n = \frac{P_{\max}}{\text{Daya Dukung ijin 1 tiang } (R_a)} \quad \dots\dots\dots(100)$$

Dimana:

n = jumlah tiang

P_{\max} = gaya aksial maksimum yang terjadi pada kombinasi tegangan ijin

2.7.5 Perencanaan Dimensi Poer

Pada perencanaan pondasi borpile dalam menghitung jarak antar pile (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa:

$$\text{Jarak antar tiang} = 2.5D \leq S \leq 3D \quad \dots\dots\dots(101)$$

$$\text{Jarak tiang ke tepi} = 1.5D \leq S' \leq 2D \quad \dots\dots\dots(102)$$

Ketentuan lain dalam perencanaan dimensi poer:

1. **SNI-03-2847-2013 pasal 15.7** mengenai ketebalan pondasi telapak diatas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk fondasi tapak di atas tanah, atau kurang dari 300 mm untuk fondasi tapak (*footing*) di atas tiang fondasi.
2. **SNI-03-2847-2013 pasal 7.7** mengenai tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm.

2.7.6 Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Borpile

Periksa ulang kebutuhan tiang borpil setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan.

$$n = \frac{P_{\text{total}}}{\text{Daya Dukung ijin 1 tiang (Ra)}} \dots\dots\dots(103)$$

2.7.7 Efisiensi Kelompok Tiang (η)

Dalam buku “ANALISA DAN DESAIN PONDASI, Jilid 2 cetakan ke-4 karya Joseph E Bowles halaman 343. Perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta = 1 - \text{Arc tag} \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \dots\dots\dots(104)$$

Dimana:

- m = banyak tiang dalam 1 baris
- n = banyak baris
- D = diameter tiang pancang (m)
- S = jarak antar As tiang borpil (m)

2.7.8 Pengecekan Antara P_u max dan P ijin Total

Karena dimensi penampang poer dan tiang borpil sudah diperoleh semuanya maka dilakukan pengecekan akhir Antara $P_u \text{ max} \leq P$ ijin total.

2.7.9 Perhitungan Daya Dukung Borpile dalam Kelompok

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} \dots\dots\dots(105)$$

Dimana:

- P = beban maksimum tiang
 $\sum P$ = gaya aksial yang terjadi (terfaktor)
 M_x = momen yang bekerja tegak lurus sumbu x
 M_y = momen yang bekerja tegak lurus sumbu y
 X = jarak tiang arah sumbu x terjauh
 Y = jarak tiang arah sumbu y terjauh
 $\sum X^2$ = jumlah kuadrat X
 $\sum Y^2$ = jumlah kuadrat Y
 n = jumlah tiang

2.7.10 Perhitungan Tulangan Borpile

1. Aksial Pu harus diambil dari gaya maksimum yang dipikul masing-masing tiang dalam kelompok dari kombinasi ultimate yang telah ditambah dengan berat sendiri pile cap.
2. Momen diambil dari nilai maksimum antar momen arah X dan momen arah Y dari kombinasi ultimate yang telah dibagi dengan jumlah tiang borpile dalam 1 poer.
3. Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi
 $\mu_h = D \text{ tiang} - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur}$

$$\mu = \frac{\mu_h}{D \text{ tiang}} \dots\dots\dots(106)$$

Sumbu Vertikal:

$$y = \frac{P_u}{\frac{1}{4} \pi x D^2} \dots\dots\dots(107)$$

Sumbu Horizontal:

$$x = \frac{Mu}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times h} \dots\dots\dots(108)$$

Kemudian mencari ρ perlu dari diagram interaksi

4. Mencari A_s perlu
 $A_s \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \dots\dots\dots(109)$

Syarat:

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$ (Memenuhi)

5. Cek dengan program PCA Column

Syarat:

$M_{ux} < M_{nx}$ (Memenuhi)

$M_{uy} < M_{ny}$ (Memenuhi)

6. Cek persyaratan persen tulangan terpasang

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{\text{Luas Penampang Pile}} \times 100\%$$

$\% \text{ Tulangan terpasang} < 8\%$ (Memenuhi)

2.7.11 Perhitungan Geser Spiral Tulangan Borpile

Rasio volume tulangan spiral, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang ditentukan dalam persamaan **pasal 10.9.3 SNI 2847-2013**

$$\rho_s = 0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(\frac{f_{c'}}{f_{yt}} \right) \dots\dots\dots(110)$$

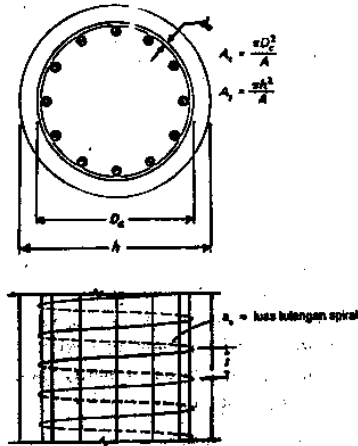
dan untuk menghitung jarak spasi dihitung dengan persamaan:

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 441 pers.13.9.5.)

$$S = \frac{a_s \times \pi \times (D_c - d_b)}{\left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \right) \times \rho_s} \dots\dots\dots(111)$$

Ketentuan jarak spasi spiral sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 7.10.4** yaitu:

- Spasi bersih antar spiral tidak boleh melebihi 75mm, atau tidak boleh kurang dari 25mm



Gambar 2. 14 Borpile dengan tulangan spiral

2.7.12 Panjang Penyaluran Tulangan Borpile

Penyaluran tulangan borpile ini sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3** mengenai penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan, dimana untuk tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus diambil sebesar yang terbesar dari:

$$\frac{0.24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} d_b \quad \dots\dots\dots(112)$$

$$0.043 \times d_b \times f_y \quad \dots\dots\dots(113)$$

2.7.13 Perhitungan Perencanaan Pile Cap (Poer)

1. Merencanakan h poer, tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Baik geser pons 1 arah maupun dua arah:

Cek perhitungan geser ponds 1 arah

$$V_u = P_u \times b_w \times L' \quad \dots\dots\dots(114)$$

Berasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1**

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton V_c (N)

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \dots\dots\dots(115)$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c \quad (\text{Memenuhi})$$

Cek perhitungan geser ponds 2 arah

Luas tributary A_t (mm^2)

$$A_t = (L \text{ poer} \times B \text{ poer}) - ((h \text{ kolom} + \text{tebal poer}) \times (b \text{ kolom} + \text{tebal poer})) \quad \dots\dots\dots(116)$$

$$V_u = P_u \times A_t \quad \dots\dots\dots(117)$$

Persamaan 1 **SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a)**

$$V_c = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \quad \dots\dots\dots(118)$$

Persamaan 2 **SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (b)**

$$V_c = 0.083 \times \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \quad \dots\dots\dots(119)$$

Persamaan 3 **SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (c)**

$$V_c = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \quad \dots\dots\dots(120)$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c \quad (\text{Memenuhi})$$

2. Penulangan lentur Pilecap (Poer)

A. Tentukan momen yang terjadi :

$$M_u = (-M_q + M_p) \quad \dots\dots\dots(121)$$

B. Hitung penulangan :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

3. Penulangan Geser Poer

- Untuk perencanaan poer, nilai V_c harus diambil sebagai nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut :

$$V \text{ (gaya lintang)} = -q_u + P \quad \dots\dots\dots(122)$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \dots\dots\dots(123)$$

- Pengecekan kondisi tulangan geser pada poer menggunakan prinsip perhitungan sama dengan pada penulangan geser balok dan kolom.
- Cek Persyaratan SPRMM untuk Kekuatan Geser Poer sama dengan Kekuatan Geser Balok.

2.7.14 Penyaluran Tulangan Stek Kolom

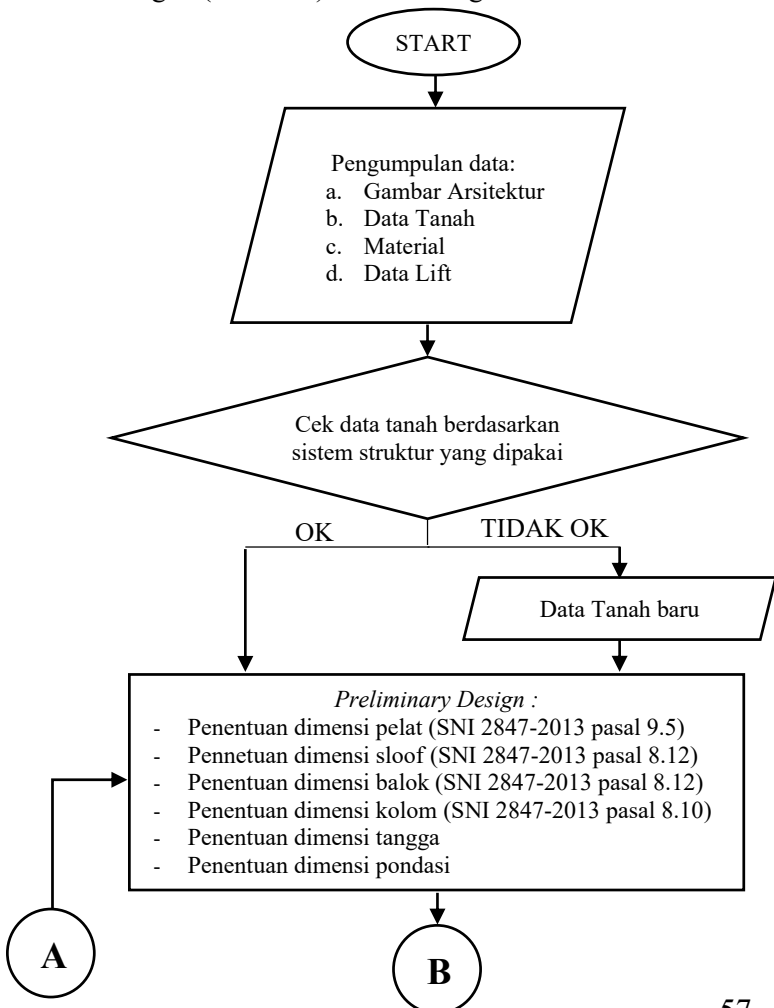
Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 12.16** tentang panjang penyaluran dasar minimum untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan.

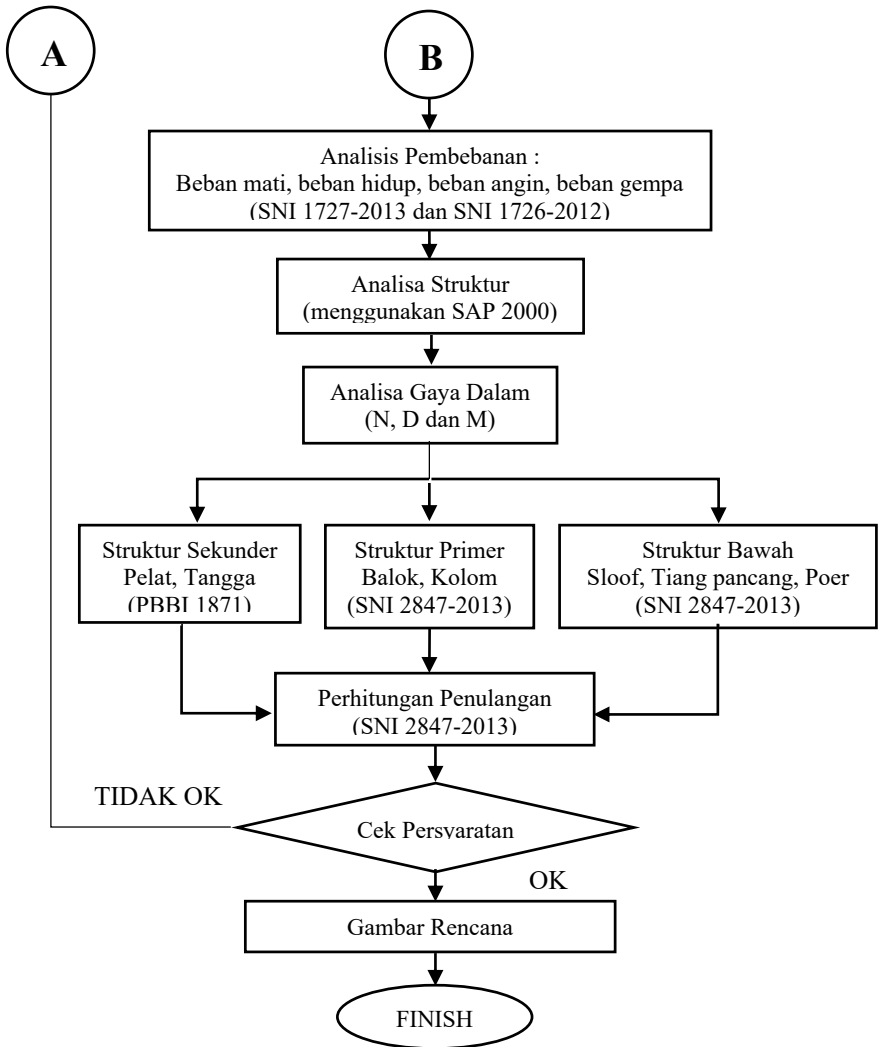
Panjang sambungan lewatan tekan harus sebesar $0.071 f_y d_b$, untuk f_y sebesar 420 Mpa atau kurang kurang, atau $(0.13 f_y - 24) d_b$ untuk f_y yang lebih besar dari 420 Mpa, tetapi tidak kurang dari 300mm. Untuk f_c' kurang dari 21 Mpa, panjang lewatan harus ditambah sepeartiganya.

Pada **pasal 12.11.3** L_d pada titik belok harus dibatasi sampai d atau $12 d_b$ yang mana yang lebih besar. Suatu peningkatan sebesar 30 persen dalam nilai M_n/V_u diizinkan bila ujung-ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan.

BAB III METODOLOGI

Langkah-langkah dalam Perencanaan Struktur Gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa timur dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :





Gambar 3. 1 Flowchart Perencanaan Struktur Bangunan

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada tugas akhir ini meliputi :

- a. Data gambar
Pengumpulan gambar diperoleh gambar arsitektur berupa denah dan tampak bangunan dimana nantinya gambar rencana tersebut akan digunakan untuk menentukan dimensi komponen-komponen struktur gedung.
- b. Data tanah
Data tanah diperoleh dari Laboratorium Mekani-ka Tanah Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS. Data tanah berupa data SPT yang akan digunakan dalam perencanaan struktur pondasi dan tiang borpile yang mendekati daerah tersebut.
- c. Material
Data meterial beton dan baja tulangan rencana yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan.
- d. Data lift
Data lift digunakan untuk menentukan kebutuhan ruang lift dan beban-beban yang terjadi pada balok penumpu lift.

3.2 Perencanaan Dimensi Struktur (*Preliminary Design*)

Preliminary design adalah suatu tahapan analisa untuk memperkirakan dimensi-dimensi struktur awal yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan dengan bantuan aplikasi computer untuk memperoleh dimensi yang efisien dan kuat. Dimensi-dimensi yang akan dilakukan preeliminari desain antara lain yaitu balok, kolom, dan pelat.

3.3 Input Pembebanan

Perhitungan beban – beban yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 1727-2013 mengenai Beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain.

Analisa pembebanan struktur adalah sebagai berikut :

1. Beban atap
 - Beban mati
Terdiri dari : Berat sendiri pelat, aspal, plafond dan penggantung, *plumbing* dan *Mechanical and Elektrical (ME)*.
 - Beban hidup
Ditentukan dalam SNI 1727-2013
2. Beban pelat lantai
 - Beban mati
Terdiri dari : Berat sendiri pelat, spesi, ubin, *plumbing*, *Mechanical and Elektrical (ME)* dan dinding.
 - Beban hidup
Ditentukan dalam SNI 1727-2013 sesuai dengan fungsi bangunan.
3. Beban tangga dan bordes
 - Beban mati : terdiri dari beban spesi, ubin, *hand railing*, anak tangga
 - Beban hidup
Tangga termasuk tangga tetap dengan beban hidup rencana minimum merupakan beban terpusat tunggal sebesar 1,33 kN untuk setiap jarak 3048 mm dari tinggi tangga. Sesuai dengan SNI 1727-2013 pasal 4.5.4
4. Beban balok
Beban yang bekerja pada balok adalah beban mati berupa pasangan batu bata ringan.
5. Beban gempa

Analisa pembebanan gempa bangunan sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726 – 2012). Dalam proyek akhir ini perhitungan beban gempa menggunakan analisa beban gempa statik ekuivalen.

6. Beban angin

Beban angin bekerja pada kolom berupa beban merata. Ditentukan dalam SNI 1727-2013 pasal 27.2 dengan tekanan tiup angin berupa tekanan angin datang, tekanan angin pergi dan tekanan angin tepi.

3.4 Analisa Struktur

Pemodelan Struktur dalam perencanaan gedung BPKAD Provinsi Jawa Timur ini menggunakan program bantu SAP 2000, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Pemodelan di modelkan sebagai sistem Struktur open frame dimana dinding tidak dimodelkan tetapi dijadikan beban pada frame.
2. Pelat dimodelkan pada SAP 2000 sebagai area section agar beban pada plat dapat terdistribusi pada balok
3. Gaya gempa dimodelkan dengan metode statik ekuivalen dan diinputkan kedalam tiap join pemodelan pada SAP 2000.

3.5 Analisa Gaya Dalam (M, N, D)

Struktur bangunan yang akan di analisa gaya dalamnya dalm perhitungan struktur gedung BPKAD Provinsi Jawa Timur ini antara lain: struktur sekunder, struktur primer dan struktur bawah.

Nilai gaya dalam diperoleh dari program bantuan SAP 2000 dan PCACOL. Untuk struktur sekunder pelat lantai, nilai gaya dalam diperoleh berdasarkan *Tabel 13.3.1 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Sedangkan untuk struktur sekunder tangga, nilai gaya dalam diperoleh dari output SAP.

Kombinasi pembebanan yang dipakai sesuai SNI 1727-2013 sebagai berikut :

A. Ketahanan struktur terhadap beban hidup dan beban mati :

- (1) $1,4D$
- (2) $1,2D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- (3) $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$

B. Ketahanan struktur terhadap beban angin dan dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati :

- (4) $1,2D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- (5) $0,9D + 1,0 W$

C. Ketahanan struktur terhadap beban gempa yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati :

- (6) $1,2D + 1,0 E + L$
- (7) $0,9D + 1,0 E$

D. Kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin :

- (8) $D + L$
- (9) $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
- (10) $0,6D + 0,7E$

Keterangan :

D : beban mati

L : beban hidup

L_r : beban hidup atap

S : beban salju

W : beban angin

E : beban gempa

R : beban hujan

3.6 Perhitungan Tulangan Struktur

Komponen-komponen struktur desain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 1726-2012. Perhitungan meliputi:

1. Output SAP 2000 yang berupa momen lentur (M), momen torsi (T), gaya aksial (P), gaya geser (D).
2. Perhitungan penulangan geser, lentur, dan puntir pada semua komponen struktur utama.
3. Kontrol perhitungan penulangan.
4. Membuat tabel penulangan yang terpakai pada elemen struktur yang dihitung (struktur atas dan struktur bawah).
5. Gambar detail penulangan.

3.7 Cek Persyaratan Penulangan

1. Plat
 - Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-2847-2013, pasal 13.3.2).
 - Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.
 - Kontrol perlu tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2013, pasal 7.12 dan pasal 7.12.2.2).
 - Kontrol panjang penyaluran (SNI 03-2847-2013, pasal 13.3.3 dan 13.3.4)
2. Balok
 - Kontrol $M_n \text{ pasang} \geq M_n$ untuk penulangan lentur
 - Kontrol kapasitas penulangan lentur balok untuk desain SRPMM (SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.1).
 - Kontrol penulangan geser balok untuk desain SRPMM (SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.2 dan pasal 21.3.4.3).
 - Kontrol kebutuhan tulangan torsi (SNI 03-2847-2013, pasal 11.5.1 sampai dengan pasal 11.5.6).
3. Kolom
 - Kontrol momen yang terjadi $M_n \text{ pasang} \geq M_n$
 - Kontrol dimensi (SNI 03-2847-2013, pasal 10.10.5 sampai dengan pasal 10.10.6)
 - Kontrol penulangan kolom untuk desain SRPMM (SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.5.2).

4. Pondasi

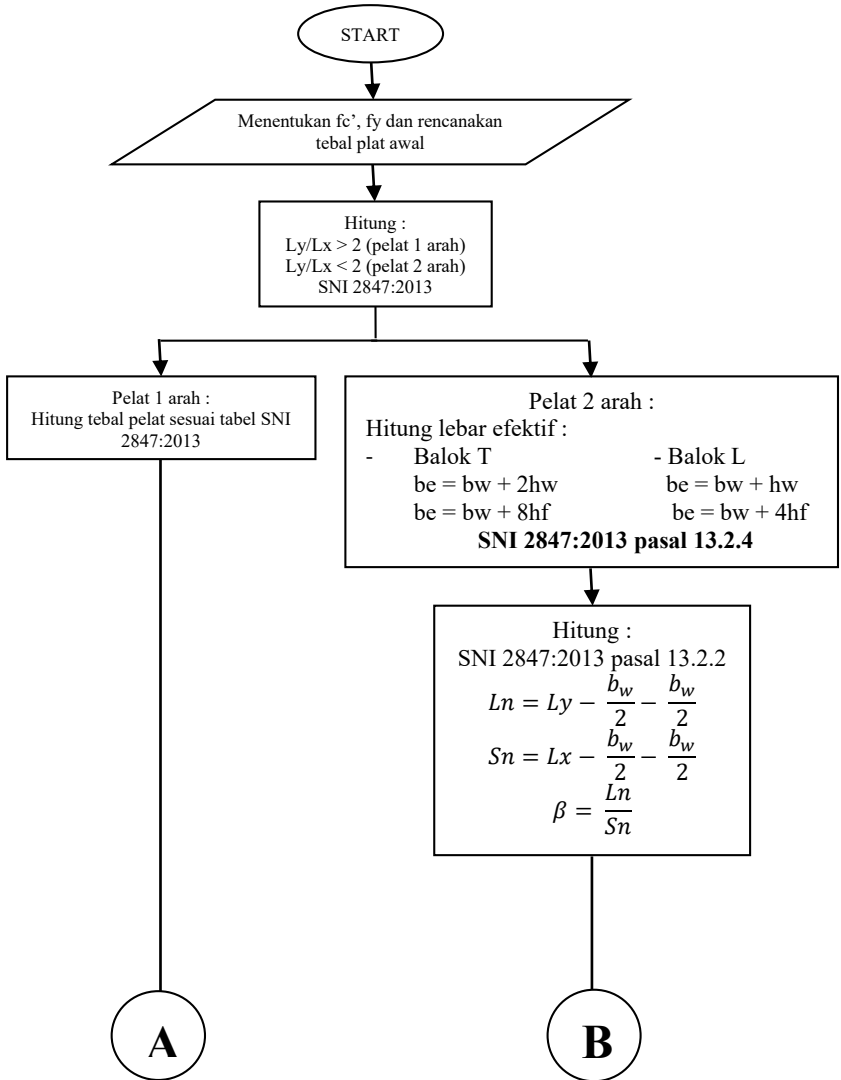
- Kontrol $P_u \max < P$ ijin total
- Kontrol $P \max$ (1 tiang) $<$ Daya Dukung 1 tiang
- Kontrol $P \min$ (1 tiang) $<$ Kapasitas cabut 1 tiang
- Kontrol spasi geser spiral (SNI 03-2847-2013, pasal 7.10.4)
- Kontrol dimensi poer
- Kontrol geser pons (SNI 03-2847-2013, pasal 11.11.2.1)

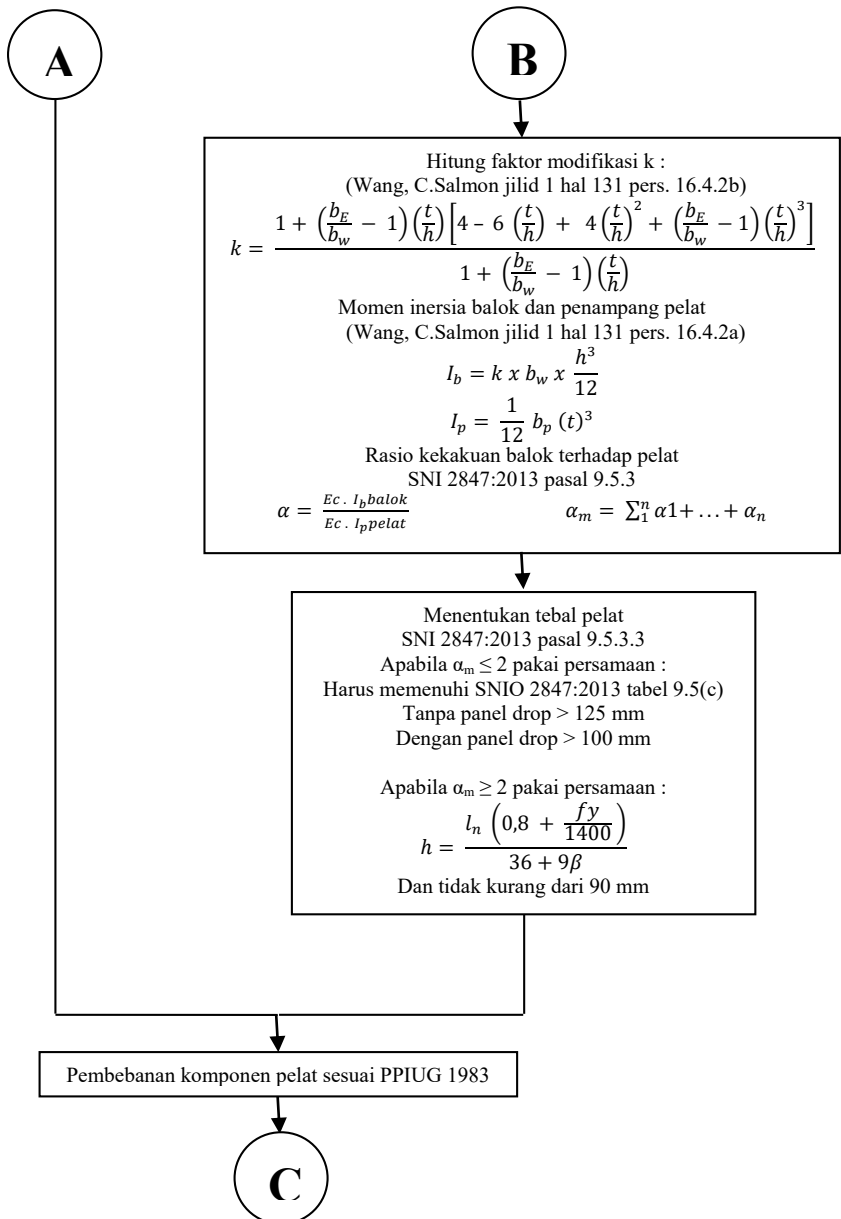
3.8 Gambar Rencana

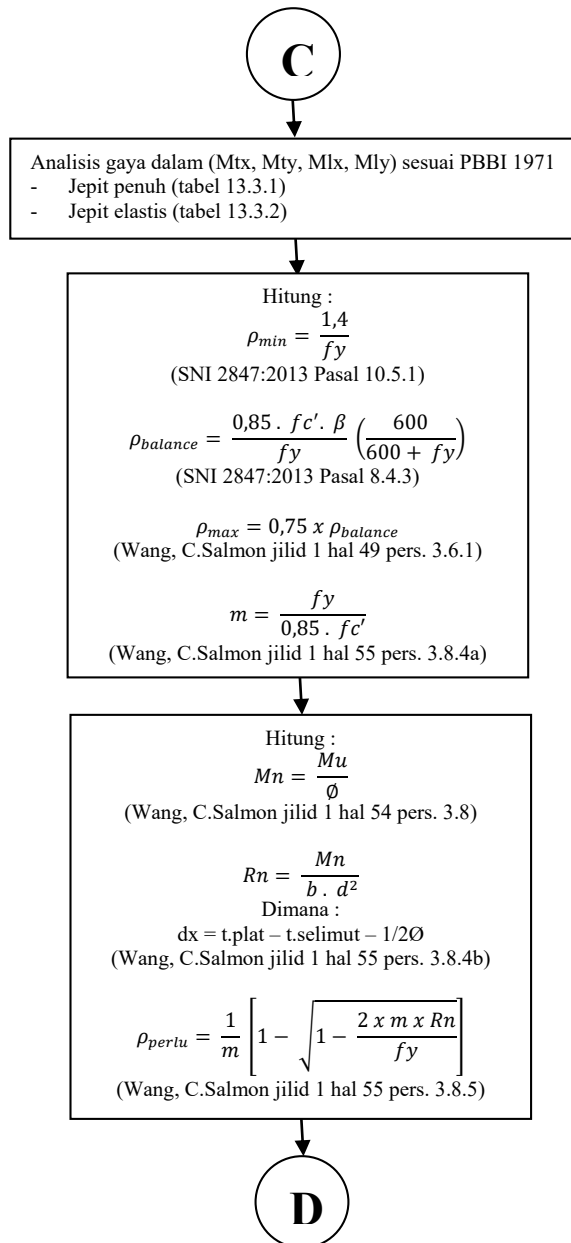
1. Gambar Arsitektur, terdiri dari :
 - a. Gambar denah
 - b. Gambar tampak
2. Gambar Potongan
 - a. Potongan memanjang
 - b. Potongan melintang
3. Gambar Penulangan
 - a. Gambar penulangan pelat
 - b. Gambar penulangan tangga
 - c. Gambar penulangan balok
 - d. Gambar penulangan kolom
 - e. Gambar penulangan sloof
 - f. Gambar penulangan poer dan pondasi
4. Gambar Struktur
 - a. Gambar pelat
 - b. Gambar balok
 - c. Gambar kolom
 - d. Gambar sloof dan pondasi

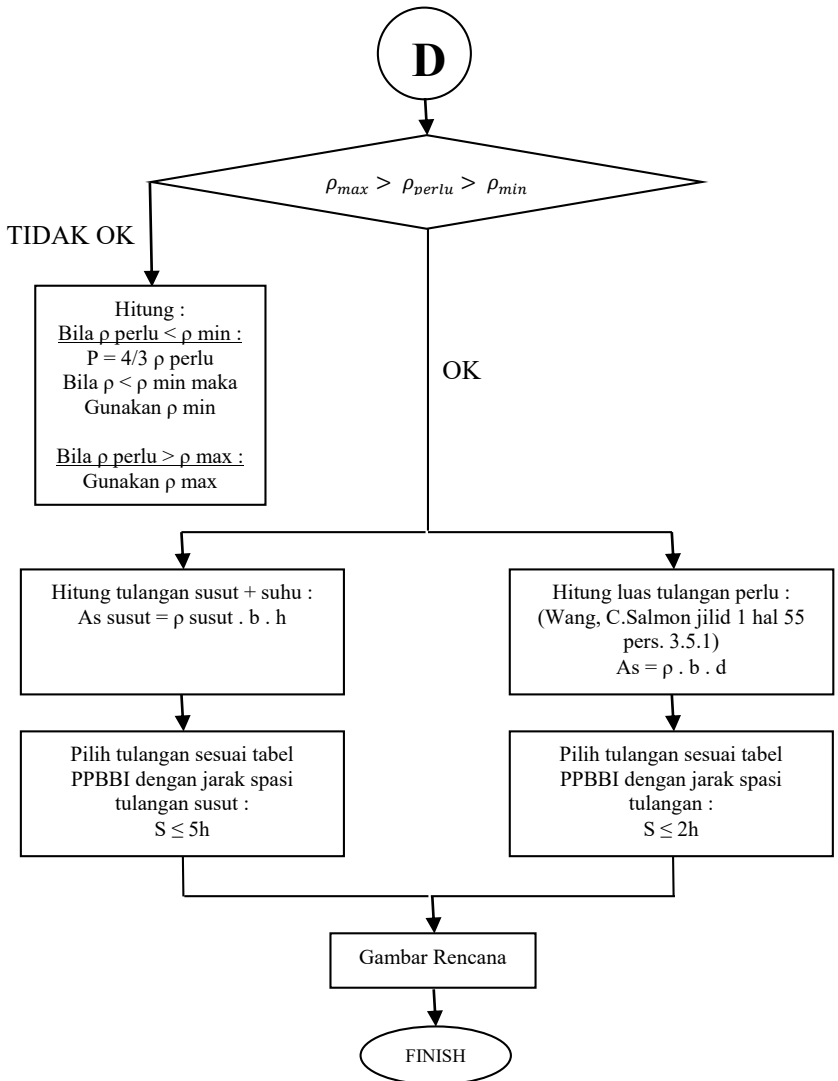
3.9 Diagram Alur

3.9.1 Pelat





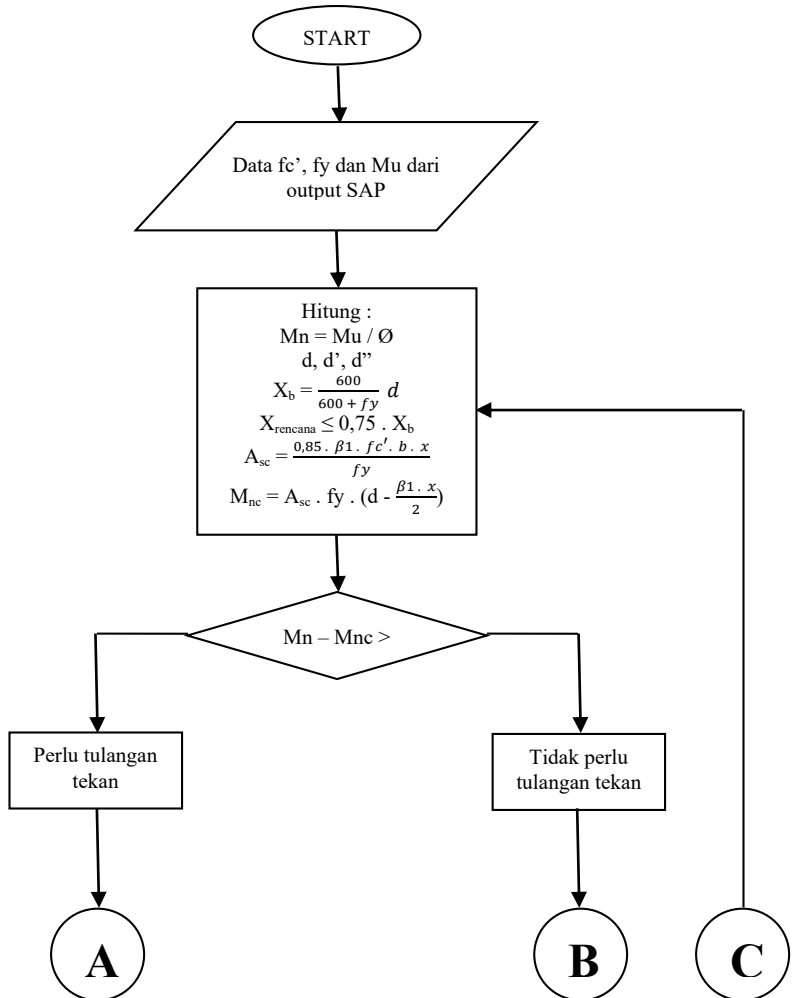


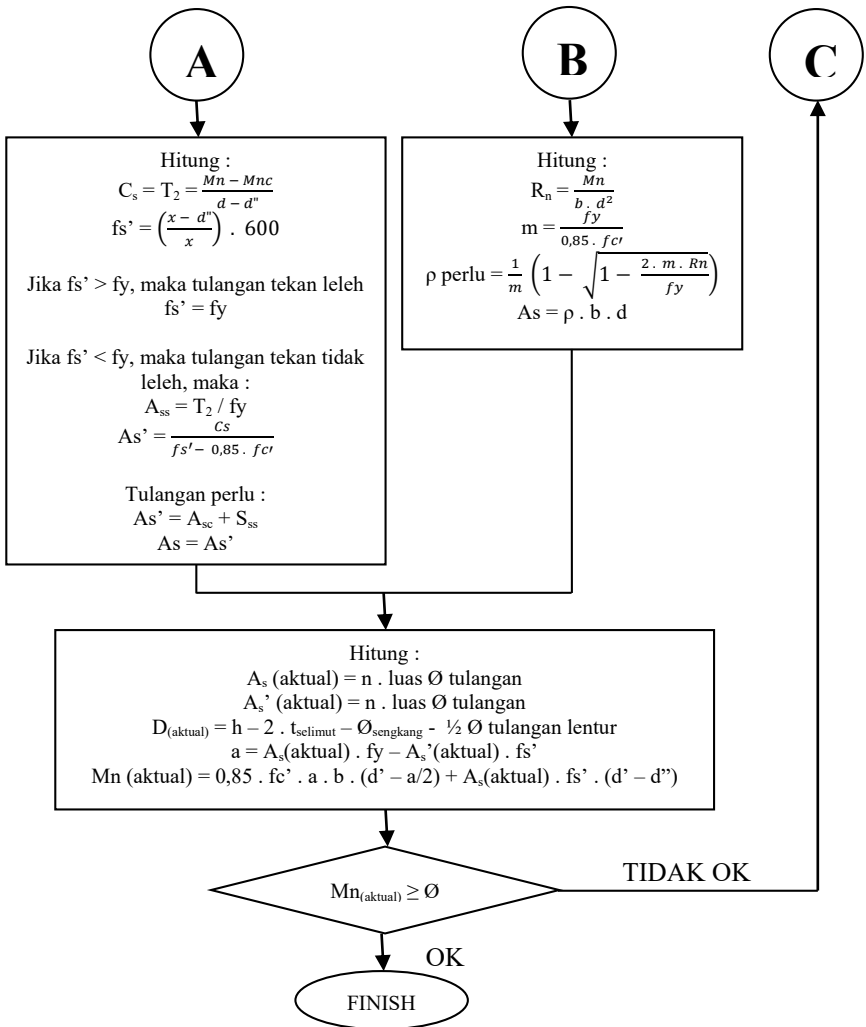


Gambar 3. 2 Flowchart Perhitungan Pelat

3.9.2 Balok

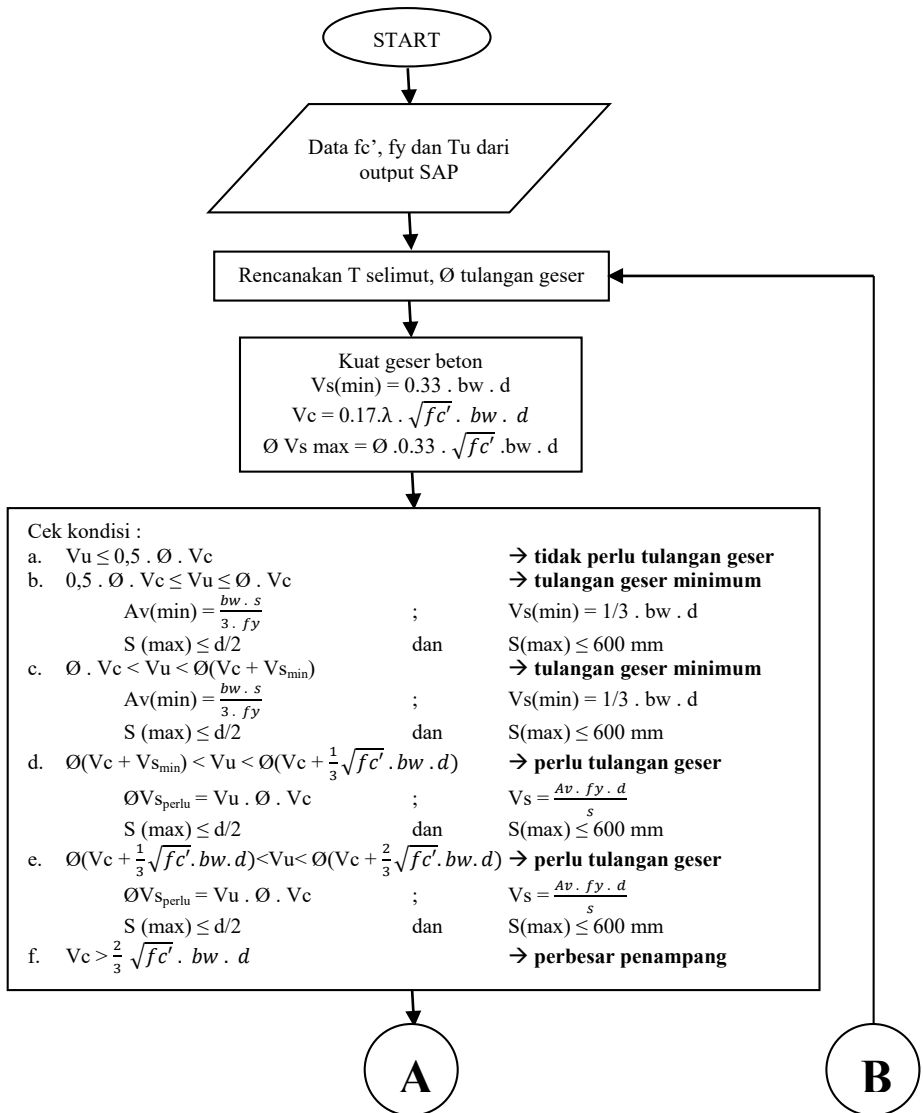
Perhitungan Tulangan Lentur

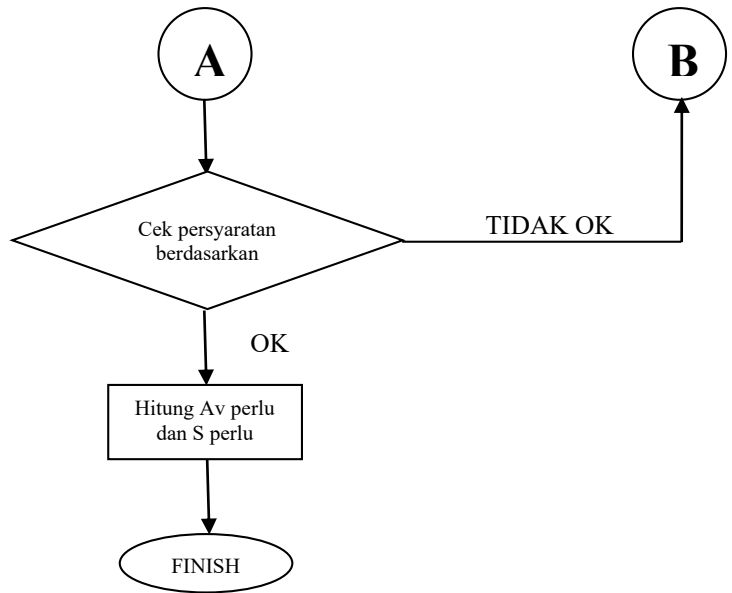




Gambar 3. 3 Flowchart Perhitungan Lentur Balok

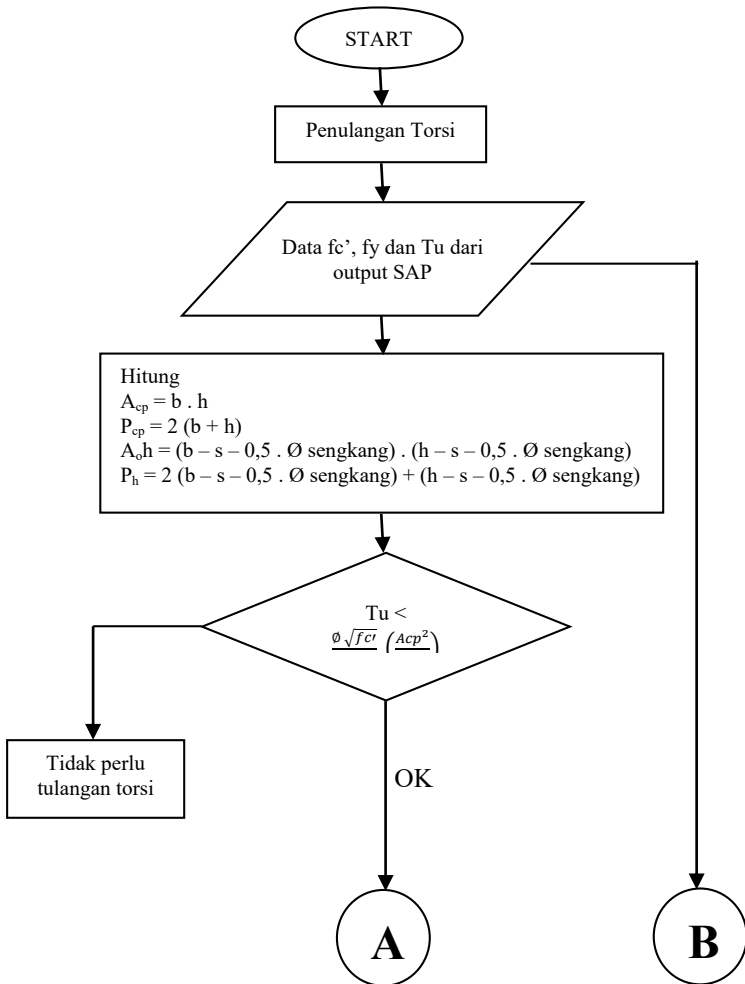
Perhitungan Tulangan Geser

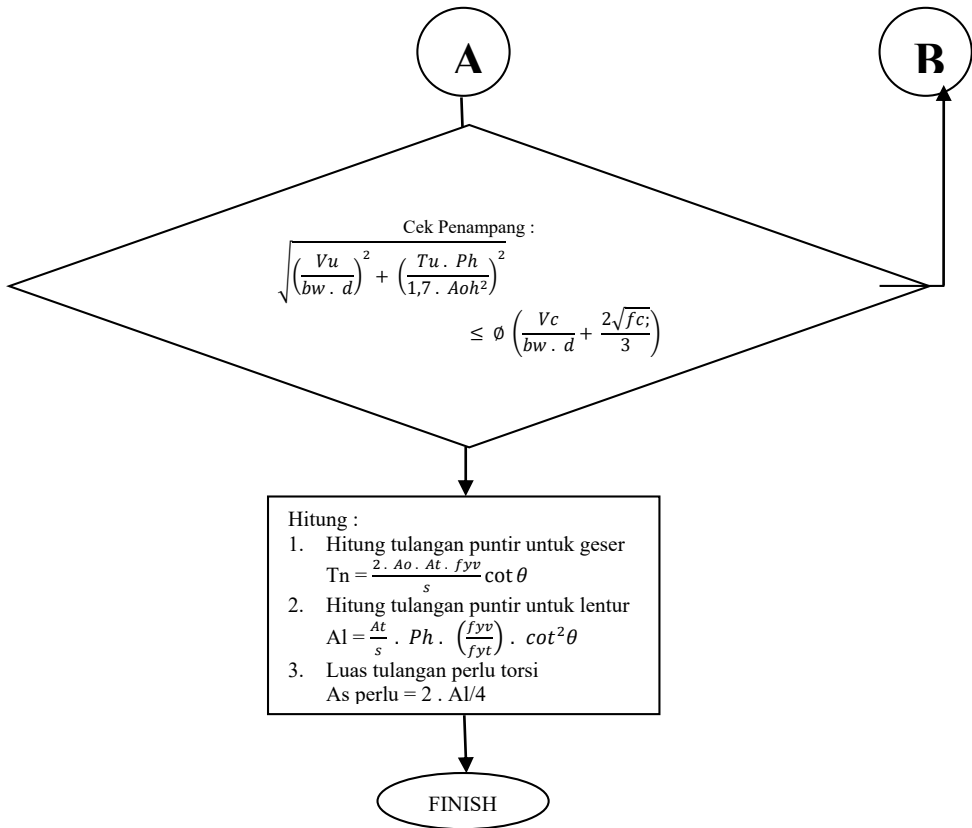




Gambar 3. 4 Flowchart Perhitungan Geser Balok

Perhitungan Tulangan Torsi

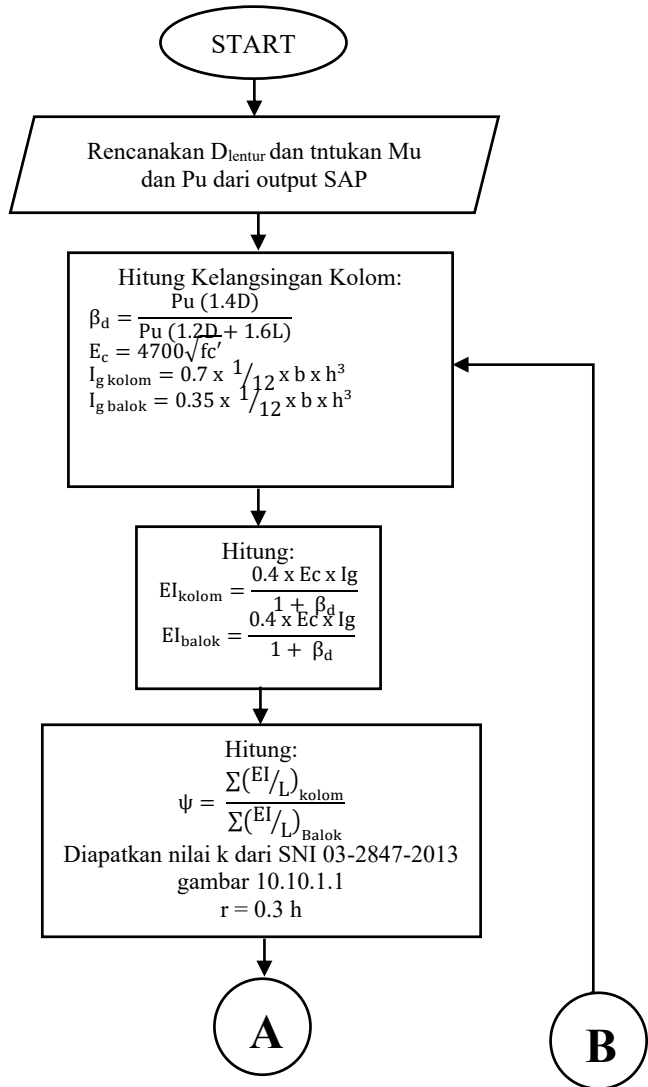


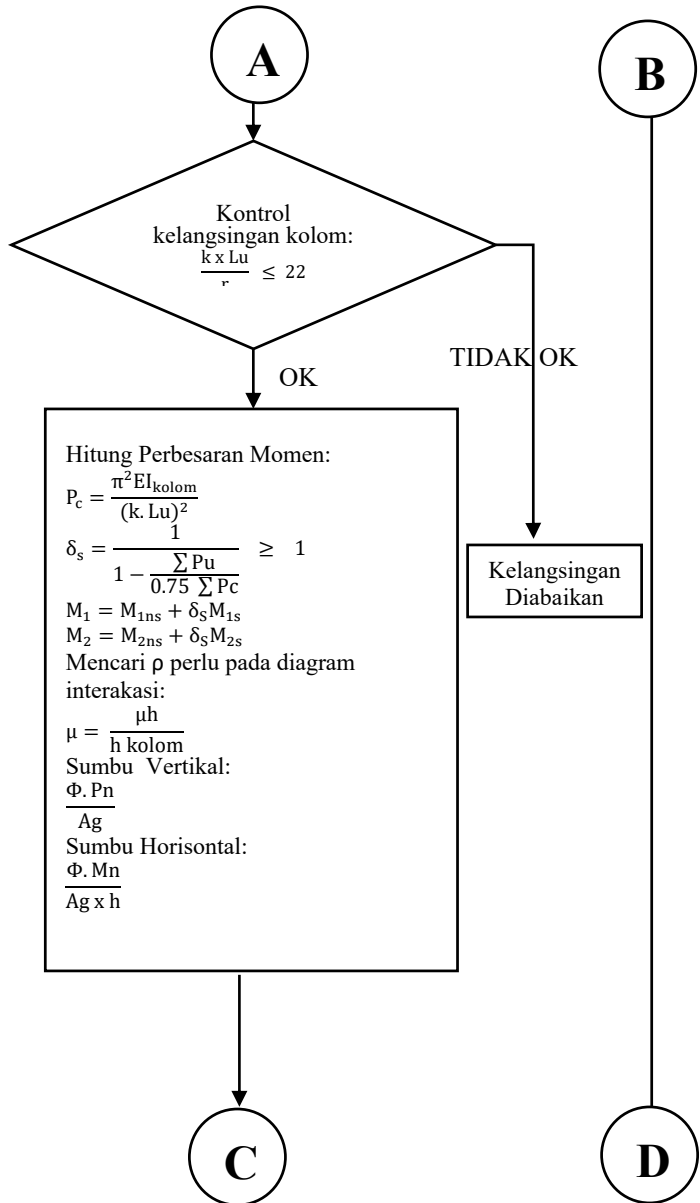


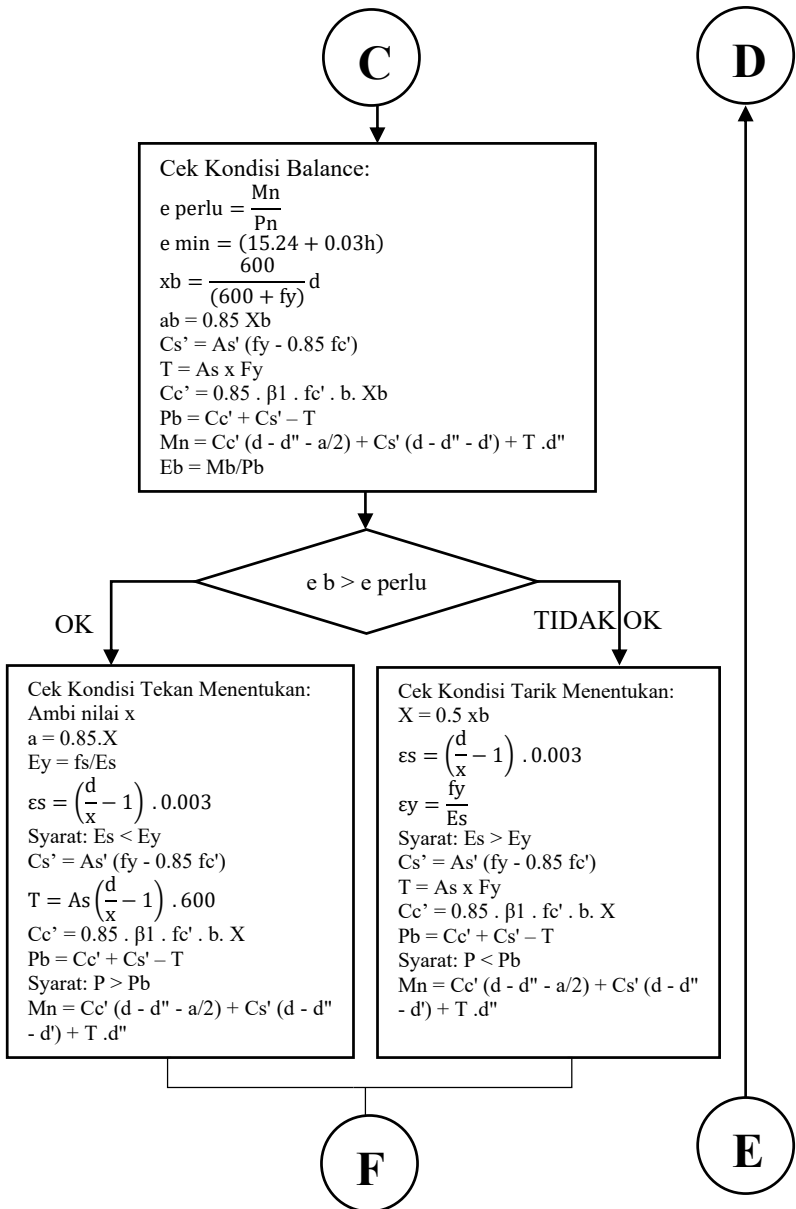
Gambar 3. 5 Flowchart Perhitungan Torsi Balok

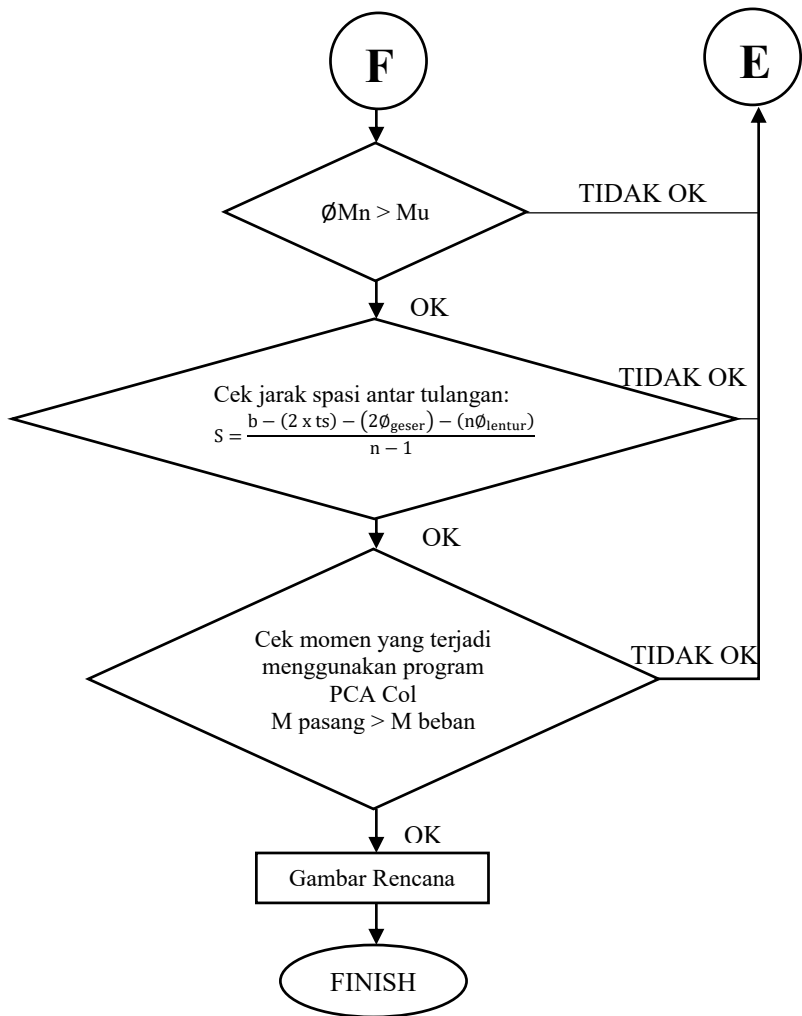
3.9.3 Kolom

Perhitungan Tulangan Lentur



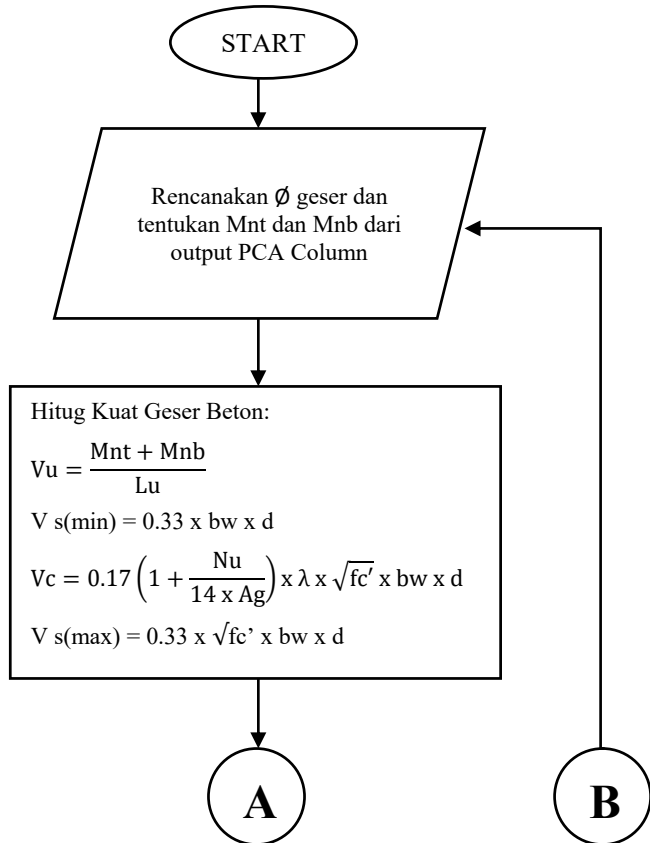


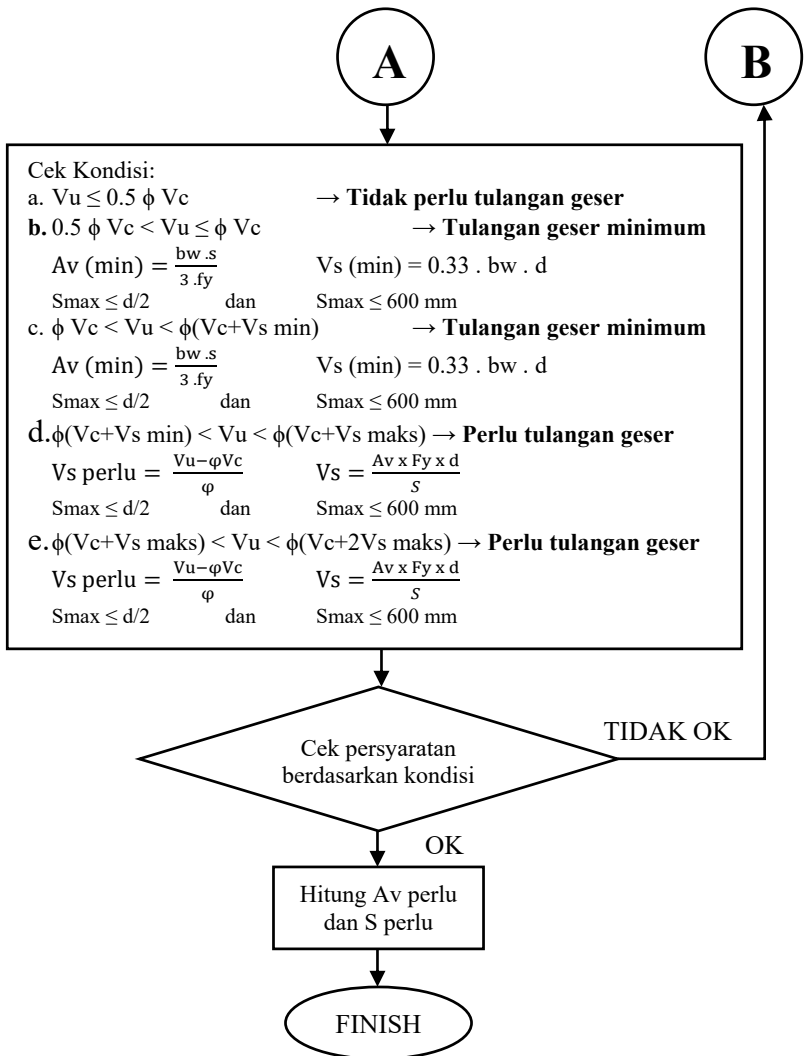




Gambar 3. 6 Flowchart Perhitungan Lentur Kolom

Perhitungan Tulangan Geser

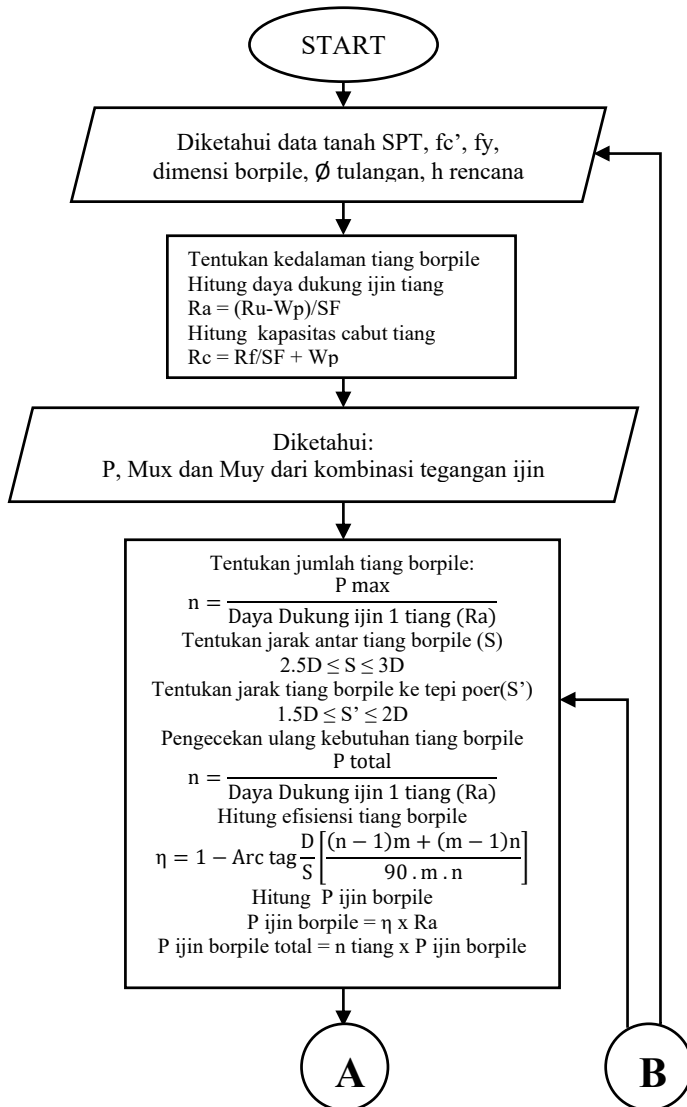


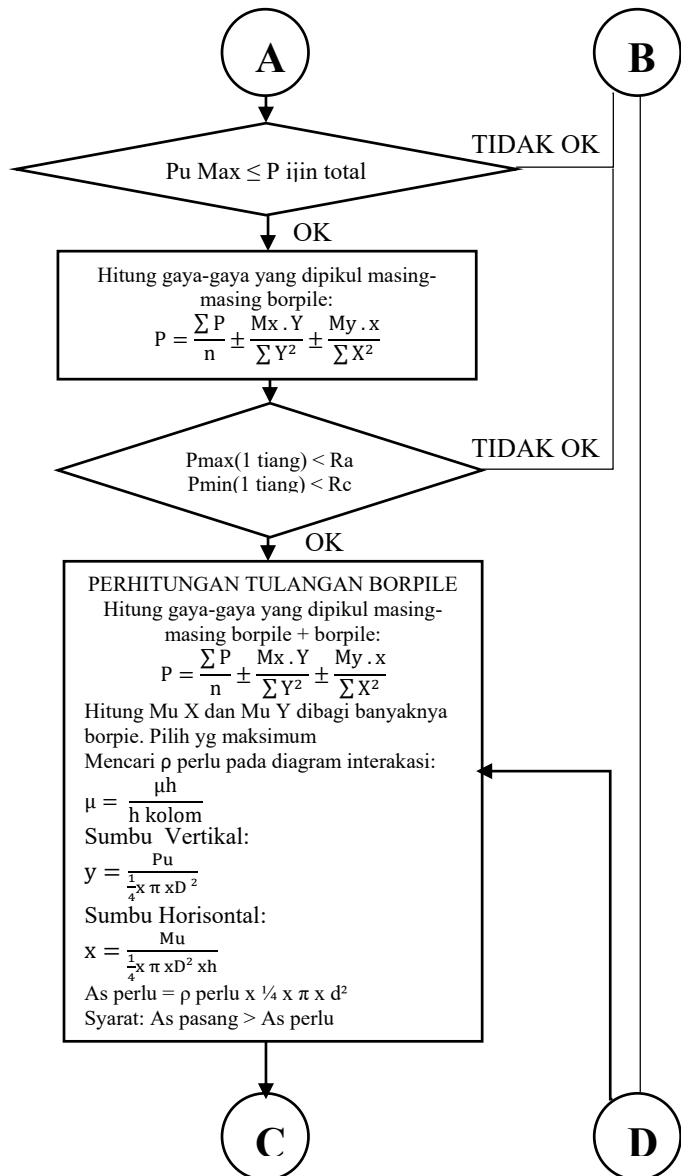


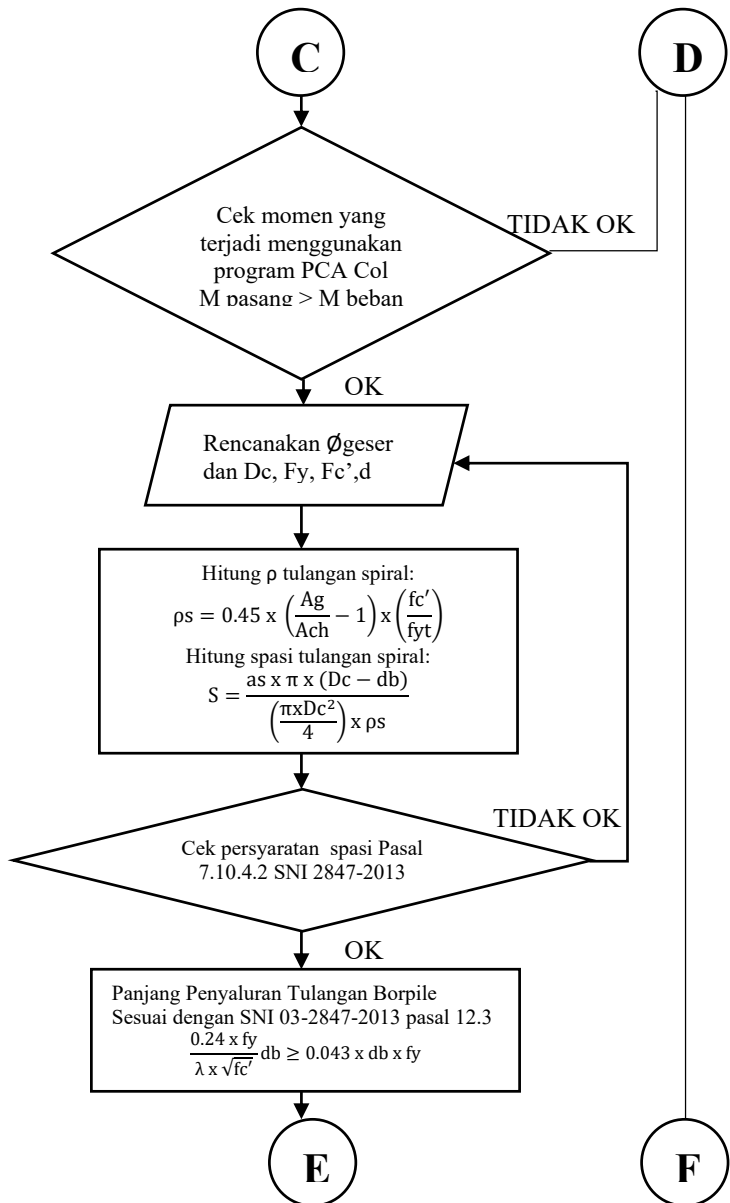
Gambar 3. 7 Flowchart Perhitungan Geser Kolom

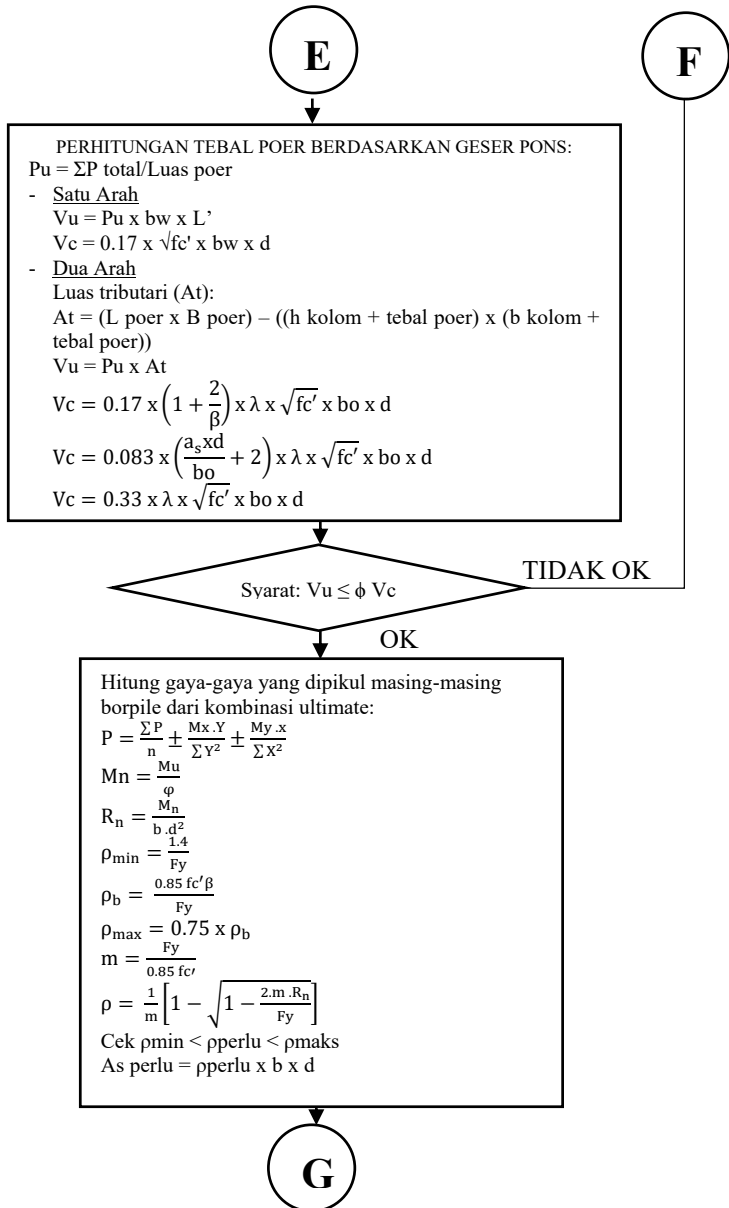
3.9.4 Pondasi Borpile dan Pilecap

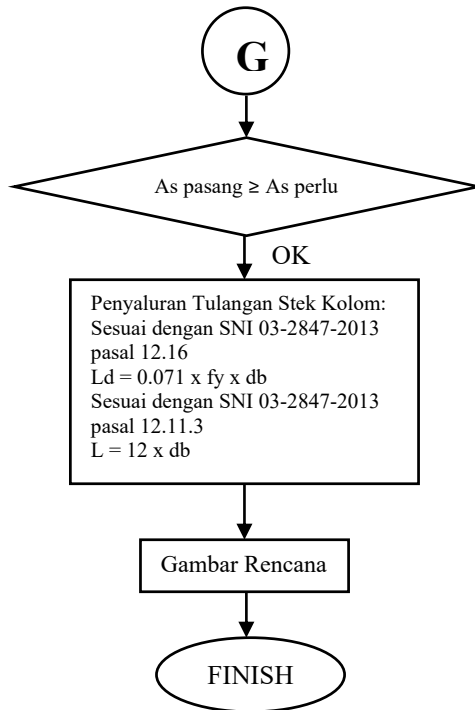
Perhitungan Pondasi Borpile dan Pilecap











Gambar 3. 8 Flowchart Perhitungan Tulangan Borpile dan Pilecap

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan

Sebagai dasar dalam menghitung struktur gedung Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah Provinsi Jawa Timur ini diperlukan data-data awal perencanaan. Dari data-data perencanaan tersebut kemudian dilakukan perhitungan-perhitungan. Data-data perencanaan yang diperlukan akan diuraikan berikut ini:

1. Data umum bangunan dan gambar arsitektur

❖ Data Umum Bangunan

Nama Gedung : Gedung BPKAD Provinsi
Jawa Timur

Lokasi : Jalan Johar 19-21,
Surabaya

Luas Bangunan : $\pm 3904 \text{ m}^2$

Tinggi Bangunan : 19.560 m

Jumlah Lantai : 4

Fungsi : Gedung Perkantoran
Bangunan

❖ Gambar arsitektur, meliputi: gambar denah dan gambar potongan

2. Data tanah

Data tanah diperoleh dari Laboratorium Mekani-ka Tanah Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS. Data tanah berupa data SPT yang akan digunakan dalam perencanaan struktur pondasi dan borpile yang mendekati daerah tersebut.

3. Material

Material yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung BPKAD adalah beton bertulang, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Mutu Beton (f_c') : 30 MPa

Mutu Tulangan Lentur (f_y) : 400 MPa

Mutu Baja Geser (f_{ys}) : 240 MPa

4. Data Lift

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan ruang mesin lift, yang terdiri dari balok penggantung lift. Pada bangunan ini digunakan lift bed lift yang diproduksi oleh SOLON (Machine Roomless Elevator), dengan data-data sebagai berikut :

| | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------------|
| Tipe Lift | : | Standart |
| Merk | : | SOLON (Machine Roomless Elevator) |
| Kapasitas | : | 15 orang (1000 kg) |
| Kecepatan | : | 1 m/detik |
| Lebar Pintu (opening width) | : | 900 mm |

Persyaratan minimal dimensi ruang luncur 1 car (Hoistway)

- Simplex : 1750 x 2200 mm²
- Duplex : 3650 x 2000 mm²

Dimensi ruang mesin

- Simplex : 1600 x 1450 mm²
- Duplex : 1600 x 1450 mm²

Beban reaksi ruang mesin

$R1 = 8269 \text{ kg}$ (berat mesin penggerak lift + beban kereta + perlengkapan)

$R2 = 6269 \text{ kg}$ (berat bandul pemberat + perlengkapan)

4.2 Penentuan Dimensi Struktur

Dalam menghitung struktur bangunan gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen-komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

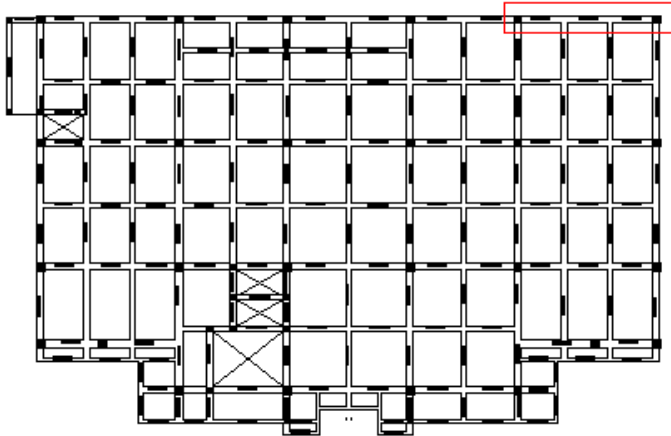
4.2.1 Penentuan Dimensi Balok

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi balok

struktur gedung BPKAD Jawa Timur adalah sebagai berikut:

A. Balok Induk

- ❖ Data-data perencanaan
 - Tipe balok : BI
 - As balok : D (5-6)
 - Bentang balok (L_{balok}) : 900 cm
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- ❖ Gambar denah perencanaan



Gambar 4. 1 Denah Perencanaan Balok Induk

- ❖ Ketentuan perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)
 - Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/16$
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times f_y / 700$
- ❖ Perhitungan perencanaan
 - h min balok

$$h \geq \frac{1}{14} \times L_{\text{Balok}} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$h \geq \frac{1}{14} \times 900 \text{ cm} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h \geq 62,45 \text{ cm}$$

$h \text{ pakai} \approx \mathbf{65 \text{ cm}}$

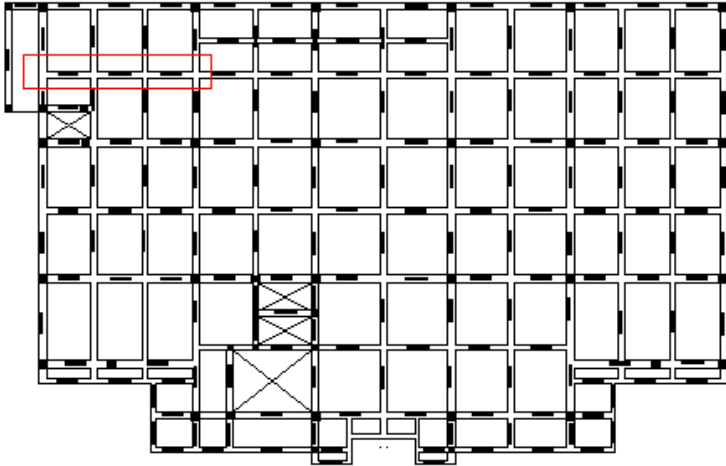
- b min balok
 $b > \frac{2}{3} h$
 $b > \frac{2}{3} \times 65 \text{ cm}$
 $b > 43 \text{ cm}$
 $b \text{ pakai} \approx \mathbf{45 \text{ cm}}$
- Maka dimensi pakai:
 $h = 65 \text{ cm}$
 $b = 45 \text{ cm}$

B. Balok Anak

❖ Data-data perencanaan

- Tipe balok : BA
- As balok : (D-C)
- Bentang balok (L_{balok}) : 900 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa

❖ Gambar denah perencanaan



Gambar 4. 2 Denah Perencanaan Balok Anak

❖ Ketentuan perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/21$
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times f_y / 700$

❖ Perhitungan perencanaan

- h min balok

$$h \geq \frac{1}{21} \times L_{\text{Balok}} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$h \geq \frac{1}{21} \times 900 \text{ cm} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

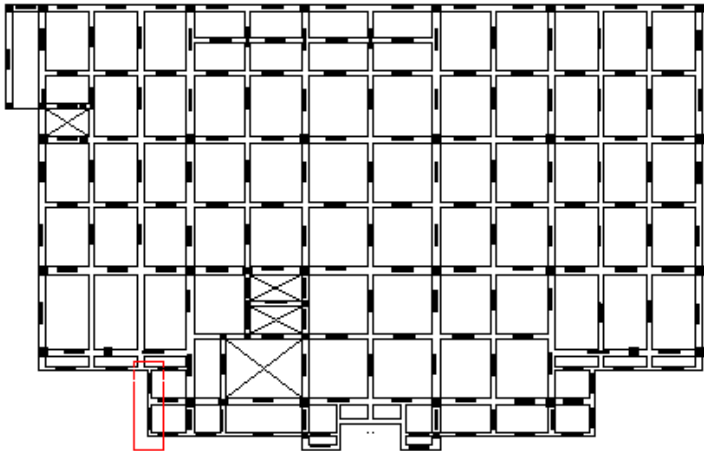
$$h \geq 41.63 \text{ cm}$$

$$h \text{ pakai } \approx \mathbf{50 \text{ cm}}$$

- b min balok
 $b > \frac{2}{3}h$
 $b > \frac{2}{3} \times 50 \text{ cm}$
 $b > 33 \text{ cm}$
 b pakai $\approx 35 \text{ cm}$
- Maka dimensi pakai:
 $h = 50 \text{ cm}$
 $b = 35 \text{ cm}$

C. Balok Kantilever

- ❖ Data-data perencanaan
 - Tipe balok : BK
 - As balok : (D-C)
 - Bentang balok (L_{balok}) : 250 cm
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- ❖ Gambar denah perencanaan



Gambar 4. 3 Denah Perencanaan Balok Kantilever

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/8$
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times f_y / 700$
- ❖ Perhitungan perencanaan
- h min balok

$$h \geq \frac{1}{8} \times L_{\text{Balok}} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$h \geq \frac{1}{8} \times 250 \text{ cm} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h \geq 30.36 \text{ cm}$$

$$h \text{ pakai} \approx \mathbf{35 \text{ cm}}$$
 - b min balok

$$b > \frac{2}{3} h$$

$$b > \frac{2}{3} \times 35 \text{ cm}$$

$$b > 23 \text{ cm}$$

$$b \text{ pakai} \approx \mathbf{25 \text{ cm}}$$
 - Maka dimensi pakai:

$$h = 35 \text{ cm}$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

4.2.2 Penentuan Dimensi Kolom

- ❖ Data-data perencanaan
- Tipe kolom : K-1
 - As kolom : (4-C)
 - Bentang kolom (L_{kolom}) : 400 cm
 - Bentang balok (L_{balok}) : 900 cm
 - Dimensi balok b_{balok} : 45 cm
 - Dimensi balok h_{balok} : 65 cm
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa

❖ Ketentuan perencanaan

Dalam perhitungan dimensi kolom, diambil dari kolom lantai 1, lantai 2, lantai 3, lantai 4 sesuai dengan denah gambar terlampir. Sehubungan dengan jarak lantai yang sama, maka dimensi kolom dari lantai 1 hingga lantai 4 adalah sama.

Berdasarkan PBBI 1989 pasal 13.7.4.1 bahwa momen inersia kolom pada sembarang penampang di luar join atau kepala kolom boleh didasarkan pada penampang bruto beton.

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}}$$

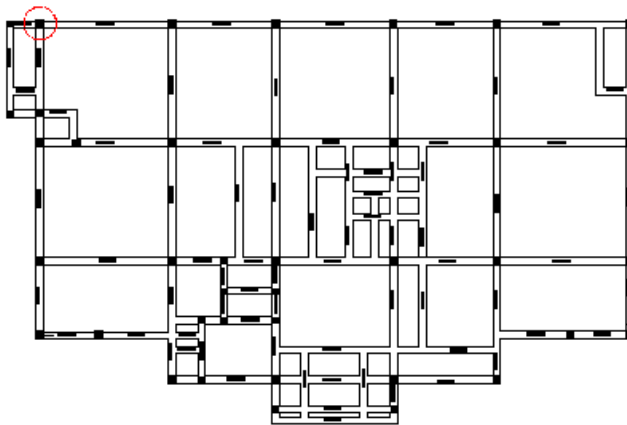
$$I_{\text{kolom}} = \text{Momen inersia kolom (cm}^4\text{)} \\ = 1/12 \times b \times h^3$$

$$L_{\text{kolom}} = \text{Tinggi bersih antar lantai (cm)}$$

$$I_{\text{balok}} = \text{Momen inersia balok (cm}^4\text{)} \\ = 1/12 \times b \times h^3$$

$$L_{\text{balok}} = \text{Bentang bersih antar balok (cm)}$$

❖ Gambar denah rencana kolom



Gambar 4. 4 Denah Perencanaan Kolom

❖ Perhitungan perencanaan

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{Balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times h^4}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{Balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times h^4}{400 \text{ cm}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times 45 \text{ cm} \times (65 \text{ cm})^3}{900 \text{ cm}}$$

$$h = \sqrt[4]{457708 \text{ cm}^4 \times 12}$$

$$h = 48.41 \text{ cm}$$

$$h \text{ pakai} = b \text{ kolom} = \mathbf{50 \text{ cm}}$$

• Direncanakan:

$$b \text{ kolom} = 50 \text{ cm}$$

$$h \text{ kolom} = 50 \text{ cm}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{Kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{\text{Balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times 50 \text{ cm} \times (50 \text{ cm})^3}{400 \text{ cm}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times 45 \text{ cm} \times (65 \text{ cm})^3}{900 \text{ cm}}$$

$$\frac{520833.33 \text{ cm}^4}{400 \text{ cm}} \geq \frac{1029843.75 \text{ cm}^4}{900 \text{ cm}}$$

$$1302.1 \text{ cm}^3 \geq 1144.24 \text{ cm}^3 \quad (\mathbf{\text{Kontrol Memenuhi}})$$

• Maka dimensi pakai:

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

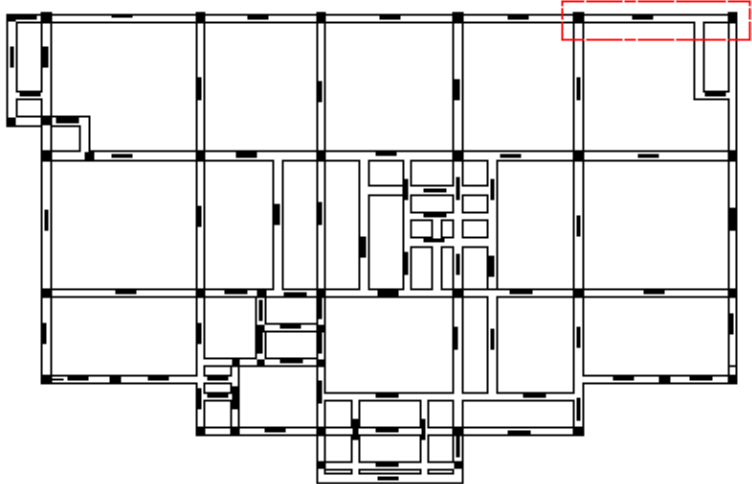
4.2.3 Penentuan Dimensi Sloof

❖ Data-data perencanaan

- Tipe sloof : S
- As sloof : D (5-6)

- Bentang sloof (L_{sloof}) : 900 cm
- Bentang balok (L_{balok}) : 900 cm
- Dimensi balok b_{balok} : 45 cm
- Dimensi balok h_{balok} : 65 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa

❖ Gambar denah rencana sloof



Gambar 4. 5 Denah Perencanaan Sloof

❖ Perhitungan perencanaan

$$\frac{E_c \times I_{\text{sloof}}}{L_{\text{sloof}}} \geq \frac{E_c \times I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times b_{\text{sloof}} \times h_{\text{sloof}}^3}{L_{\text{sloof}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}}^3}{L_{\text{Balok}}}$$

$$I_{\text{sloof}} = \frac{\frac{1}{12} \times b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}}^3 \times L_{\text{sloof}}}{L_{\text{Balok}}}$$

$$I_{\text{sloof}} = 1029843.75 \text{ cm}^4$$

$$h_{\text{sloof}} = \sqrt[4]{1029843.75 \text{ cm}^4 \times 12}$$

$$h_{\text{sloof}} = 52.29 \text{ cm}$$

$$b_{\text{sloof}} = \frac{2}{3} \times h_{\text{sloof}}$$

$$b_{\text{sloof}} = \frac{2}{3} \times 52.29 \text{ cm}$$

$$b_{\text{sloof}} = 39.53 \text{ cm}$$

- Direncanakan:

$$b_{\text{sloof}} = \mathbf{50 \text{ cm}}$$

$$h_{\text{sloof}} = \mathbf{65 \text{ cm}}$$

$$\begin{aligned} \frac{E_c \times I_{\text{sloof}}}{L_{\text{sloof}}} &\geq \frac{E_c \times I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}} \\ \frac{\frac{1}{12} \times b_{\text{sloof}} \times h_{\text{sloof}}^3}{L_{\text{sloof}}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}}^3}{L_{\text{Balok}}} \\ \frac{\frac{1}{12} \times 50 \text{ cm} \times (65 \text{ cm})^3}{900 \text{ cm}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times 45 \text{ cm} \times (65 \text{ cm})^3}{900 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1144270.8 \text{ cm}^4}{900 \text{ cm}} &\geq \frac{1029843.8 \text{ cm}^4}{900 \text{ cm}} \\ 1271.4 \text{ cm}^3 &\geq 1144.3 \text{ cm}^3 \quad \mathbf{(Kontrol Memenuhi)} \end{aligned}$$

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut :

A. Balok

Balok Induk : 45/65

Balok Anak : 35/50

Balok Kantilever : 25/35

Balok Bordes : 35/50

B. Kolom

Kolom 1 : 50/50

Kolom 2 : 35/35

Kolom 3 : 35/45

C. Sloof

: 50/65

4.2.4 Perencanaan Dimensi Pelat

Pembebanan pada pelat dibagi menjadi dua yaitu pembebanan pada pelat atap dan pembebanan pada pelat lantai. Hal ini dikarenakan beban yang bekerja pada pelat atap tidak sama dengan pelat lantai oleh karena itu perhitungan pembebanan dan perhitungan kebutuhan tulangannya dibedakan.

Perencanaan pelat pada lantai maupun atap direncanakan dengan anggapan terjepit elastis. Hal ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit. Dan ukuran balok cukup kecil, sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi.

Untuk merencanakan tebal pelat minimum baik untuk pelat satu arah maupun untuk pelat dua arah dipergunakan persyaratan yang telah tercantum di dalam SNI 03 – 2847 – 2013 Dilengkapi Penjelasan. Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal minimum pelat satu arah dan dua arah harus dihitung sesuai dengan peraturan SNI 03 – 2847 – 2013 Dilengkapi Penjelasan seperti yang dipakai dalam *preliminary design* sebagai berikut.

– Syarat lendutan, ketebalan minimum dari:

- Untuk $0,2 < \alpha_m < 2,0$

$$h_{\text{maks}} = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \text{ dan } > 125 \text{ mm}$$

Persamaan 9-12 SNI 03 - 2847 - 2013

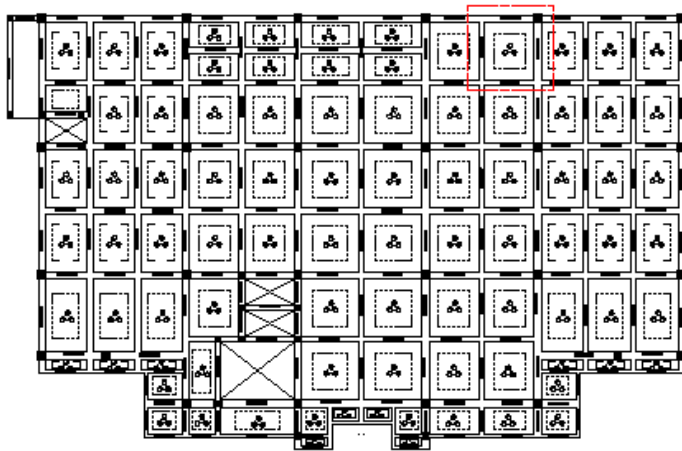
- Untuk $\alpha_m \geq 2,0$

$$h_{\text{maks}} = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

Persamaan 9-13 SNI 03 - 2847 - 2013

4.2.4.1 Penentuan Dimensi Pelat Dua Arah Tipe 1

- ❖ Data-data perencanaan
 - Tipe pelat : 1
 - As pelat : C-D (4-5)
 - Mutu beton (f_c') : 30 MPa
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
 - Rencana tebal pelat : 12 cm
 - Bentang pelat sumbu panjang (L_y): 400 cm
 - Bentang pelat sumbu pendek (L_x) : 350 cm
 - Balok (atas) BI : 45/65
 - Balok (bawah) BA : 35/50
 - Balok (kanan) BI : 45/65
 - Balok (kiri) BA : 35/50
- ❖ Gambar denah rencana pelat



Gambar 4. 6 Denah Perencanaan Pelat Tipe 1

- ❖ Perhitungan perencanaan
 - Bentang bersih pelat sumbu panjang

$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 400 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{35 \text{ cm}}{2} = 360 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek

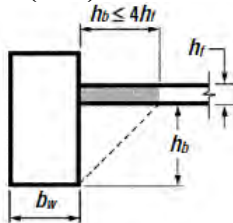
$$S_n = L_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 350 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{35 \text{ cm}}{2} = 310 \text{ cm}$$

- Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{360 \text{ cm}}{310 \text{ cm}} = 1.1613$$

➤ **Balok (atas) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = h_b = (h \text{ balok} - t_p \text{ rencana}) = 65 - 12 = 53 \text{ cm}$$

$$b_e = 4 h_f = 4 \times t_p \text{ rencana} = 4 \times 12 = 48 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 48 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{48}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{65}\right) + 4\left(\frac{12}{65}\right)^2 + \left(\frac{48}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{48}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)}$$

$$k = 1.0247$$

- Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.0247 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1055249.4 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

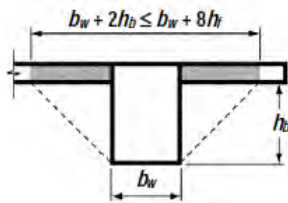
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (400) \times 12^3}{12} = 28800 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1055249.4 \text{ cm}^4}{28800 \text{ cm}^4} = 36.64$$

➤ **Balok (bawah) : Balok Anak 35/50**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 35 + (2 \times (50-12)) = 111 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 111 cm

Faktor modifikasi (k):

**(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang &
C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)**

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)x \left(\frac{hf}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{h}\right) + 4 \left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)x \left(\frac{hf}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)x \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1.6237$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.6237 \times 35 \times \frac{50^3}{12} = 591964.6 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

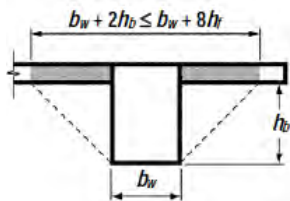
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (400 + 400) \times 12^3}{12} = 57600 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{591964.6 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} = 10.28$$

➤ **Balok (kanan) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 12) = 141 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 45 + (2 \times (65-12)) = 151 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 141 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1 \right) x \left(\frac{12}{65} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{65} \right) + 4 \left(\frac{12}{65} \right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1 \right) x \left(\frac{12}{65} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1 \right) x \left(\frac{12}{65} \right)}$$

$$k = 1.577$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.577 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1624070.4 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

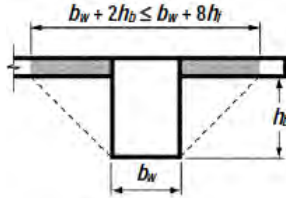
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (250 + 350) \times 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070.4 \text{ cm}^4}{43200 \text{ cm}^4} = 37.59$$

➤ **Balok (kiri) : Balok Anak 35/50**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 35 + (2 \times (50-12)) = 111 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 111 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) x \left(\frac{12}{50} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50} \right) + 4 \left(\frac{12}{50} \right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) x \left(\frac{12}{50} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) x \left(\frac{12}{50} \right)}$$

$$k = 1.6237$$

- Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.6237 \times 35 \times \frac{50^3}{12} = 591964.6 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (350 + 350) \times 12^3}{12} = 50400 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{591964.6 \text{ cm}^4}{50400 \text{ cm}^4} = 11.75$$

- **Dari keempat balok di sekeliling pelat di atas, didapat nilai rata-rata α_m :**

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{36.64 + 10.28 + 37.59 + 11.75}{4}$$

$$\alpha_m = 24.06$$

Karena $\alpha_m > 2$, maka dipakai perhitungan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3 persamaan 9-13 dimana ketebalan minimum pelat tidak boleh kurang dari:

$$h_{\text{maks}} = \frac{L_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

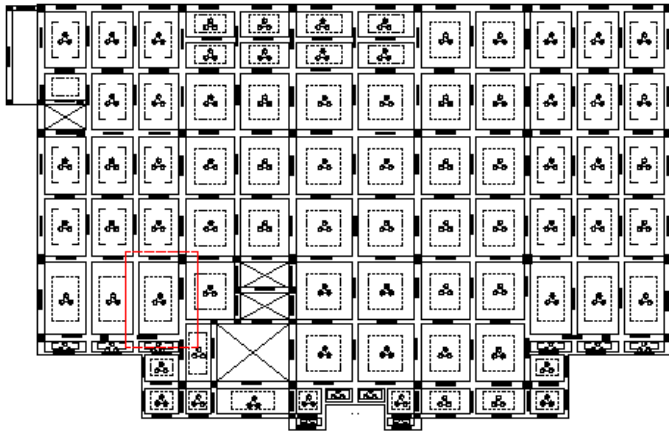
$$h_{\text{maks}} = \frac{3600 \text{ mm} \left(0.8 + \frac{400 \text{ MPa}}{1400} \right)}{36 + 9(1.1613)} > 90 \text{ mm}$$

$$h_{\text{maks}} = 92.14 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi tebal pelat lantai menggunakan $t = 120 \text{ mm}$.

4.2.4.2 Penentuan Dimensi Pelat Dua Arah Tipe 2

- ❖ Data-data perencanaan
 - Tipe pelat : 2
 - As pelat : A'-B (1-1')
 - Mutu beton (f_c') : 30 MPa
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
 - Rencana tebal pelat : 12 cm
 - Bentang pelat sumbu panjang (L_y) : 500 cm
 - Bentang pelat sumbu pendek (L_x) : 300 cm
 - Balok (atas) BI : 45/65
 - Balok (bawah) BA : 45/65
 - Balok (kanan) BI : 45/65
 - Balok (kiri) BA : 35/50
- ❖ Gambar denah rencana pelat



Gambar 4. 7 Denah Perencanaan Pelat Tipe 2

- ❖ Perhitungan perencanaan
 - Bentang bersih pelat sumbu panjang

$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 500 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{45 \text{ cm}}{2} = 455 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek

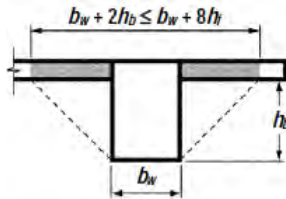
$$S_n = L_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 300 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{35 \text{ cm}}{2} = 260 \text{ cm}$$

- Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{455 \text{ cm}}{260 \text{ cm}} = 1.75$$

➤ **Balok (atas) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 12) = 141 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 45 + (2 \times (65-12)) = 151 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 141 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{65}\right) + 4\left(\frac{12}{65}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)}$$

$$k = 1.577$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.577 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1624070.4 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

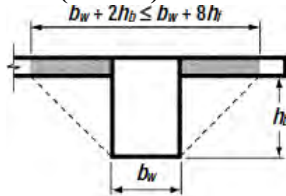
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (400 + 500) \times 12^3}{12} = 64800 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070.4 \text{ cm}^4}{64800 \text{ cm}^4} = 25.06$$

➤ **Balok (bawah) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 12) = 141 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 45 + (2 \times (60-12)) = 151 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 141 cm

Faktor modifikasi (k):

**(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang &
C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)**

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x \left(\frac{12}{65}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{65}\right) + 4\left(\frac{12}{65}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x \left(\frac{12}{65}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x \left(\frac{12}{65}\right)}$$

$$k = 1.577$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.577 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1624070.4 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

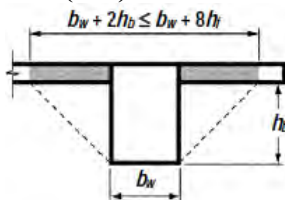
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (100 + 500) \times 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070.4 \text{ cm}^4}{43200 \text{ cm}^4} = 37.59$$

➤ **Balok (kiri) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 12) = 141 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 45 + (2 \times (60-12)) = 151 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 141 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{12}{65}\right) + 4\left(\frac{12}{65}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)}$$

$$k = 1.577$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.577 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1624070.4 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

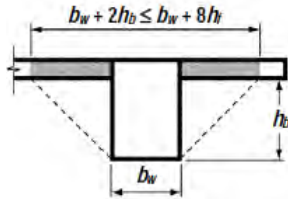
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (50 + 300) \times 12^3}{12} = 25200 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070.4 \text{ cm}^4}{25200 \text{ cm}^4} = 64.45$$

➤ **Balok (kanan) : Balok Anak 35/50**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 35 + (2 \times (50-12)) = 111 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 111 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{12}{50}\right) + 4\left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1.6237$$

- Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.6237 \times 35 \times \frac{50^3}{12} = 591964.6 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (300 + 300) \times 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{591964.6 \text{ cm}^4}{43200 \text{ cm}^4} = 13.7$$

- Dari keempat balok di sekeliling pelat di atas, didapat nilai rata-rata α_m :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{25.06 + 37.59 + 64.45 + 13.7}{4}$$

$$\alpha_m = 35.2$$

Karena $\alpha_m > 2$, maka dipakai perhitungan sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3** dimana ketebalan minimum pelat tidak boleh kurang dari:

$$h_{\text{maks}} = \frac{L_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

$$h_{\text{maks}} = \frac{4550 \text{ mm} \left(0.8 + \frac{400 \text{ MPa}}{1400} \right)}{36 + 9(1.75)} > 90 \text{ mm}$$

$$h_{\text{maks}} = 95.46 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

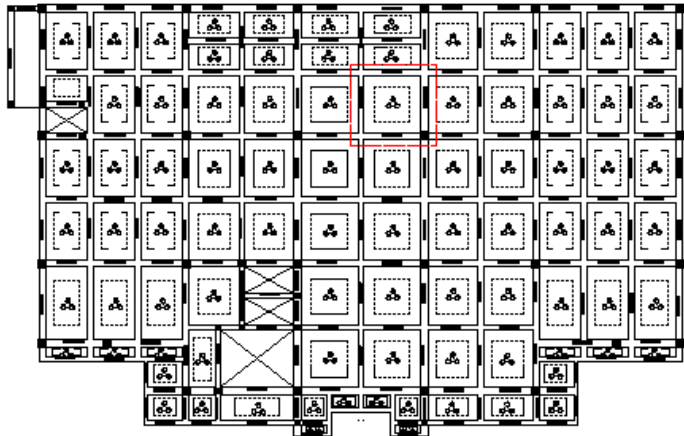
Jadi, dimensi tebal pelat lantai menggunakan $t = 120 \text{ mm}$.

4.2.4.3 Penentuan Dimensi Pelat Dua Arah Tipe 3

❖ Data-data perencanaan

- Tipe pelat : 3
- As pelat : C-D (3-4)
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- Rencana tebal pelat : 12 cm
- Bentang pelat sumbu panjang (L_y) : 400 cm
- Bentang pelat sumbu pendek (L_x) : 400 cm
- Balok (atas) BA : 35/50
- Balok (bawah) BI : 45/65
- Balok (kiri) BI : 45/65
- Balok (kanan) BA : 35/50

❖ Gambar denah rencana pelat



Gambar 4. 8 Denah Perencanaan Pelat Tipe 3

❖ Perhitungan perencanaan

- Bentang bersih pelat sumbu panjang

$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 400 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{35 \text{ cm}}{2} = 360 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek

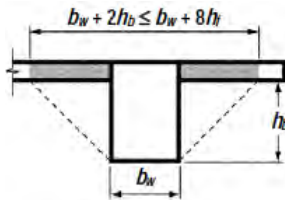
$$S_n = L_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 400 \text{ cm} - \frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{35 \text{ cm}}{2} = 360 \text{ cm}$$

- Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{360 \text{ cm}}{360 \text{ cm}} = 1$$

➤ **Balok (atas) : Balok Anak 35/50**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 35 + (2 \times (50-12)) = 111 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 111 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{50}\right) + 4\left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1.6237$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.6237 \times 35 \times \frac{50^3}{12} = 591964.6 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

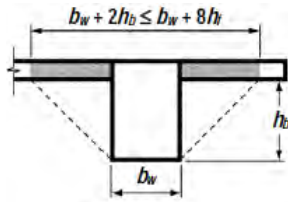
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (200 + 400) \times 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{591964.6 \text{ cm}^4}{43200 \text{ cm}^4} = 13.7$$

➤ **Balok (bawah) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 12) = 141 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 45 + (2 \times (65-12)) = 151 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 141 cm

Faktor modifikasi (k):

**(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang &
C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)**

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)x \left(\frac{hf}{h}\right)x \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{h}\right) + 4 \left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)x \left(\frac{hf}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)x \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x \left(\frac{12}{65}\right)x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{65}\right) + 4 \left(\frac{12}{65}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x \left(\frac{12}{65}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x \left(\frac{12}{65}\right)}$$

$$k = 1.577$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.577 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1624070.4 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

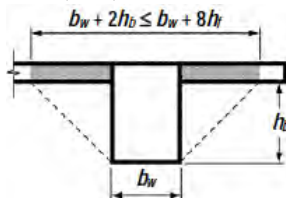
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (400 + 400) \times 12^3}{12} = 57600 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070.4 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} = 28.2$$

➤ **Balok (kiri) : Balok Induk 45/65**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 12) = 141 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 45 + (2 \times (65-12)) = 151 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 141 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h}\right)^2}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{12}{65}\right) + 4\left(\frac{12}{65}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right)x\left(\frac{12}{65}\right)^2}$$

$$k = 1.577$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.577 \times 45 \times \frac{65^3}{12} = 1624070.4 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

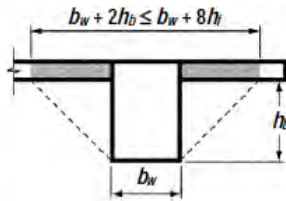
$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (350 + 400) \times 12^3}{12} = 54000 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070.4 \text{ cm}^4}{54000 \text{ cm}^4} = 30.08$$

➤ **Balok (kiri) : Balok Anak 35/50**



Lebar efektif (SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4):

$$b_e = b_w + 8h_f = 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 2h_b = 35 + (2 \times (50-12)) = 111 \text{ cm}$$

Maka nilai b_e (pakai nilai b_e yang terkecil) adalah 111 cm

Faktor modifikasi (k):

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) x \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) x \left(\frac{12}{50} \right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50} \right) + 4 \left(\frac{12}{50} \right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) x \left(\frac{12}{50} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) x \left(\frac{12}{50} \right)}$$

$$k = 1.6237$$

– Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.6237 \times 35 \times \frac{50^3}{12} = 591964.6 \text{ cm}^4$$

– Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = \frac{b_p \times t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0.5 \times (400 + 400) \times 12^3}{12} = 57600 \text{ cm}^4$$

– Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{591964.6 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} = 10.28$$

➤ Dari keempat balok di sekeliling pelat di atas, didapat nilai rata-rata α_m :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{13.7 + 28.2 + 30.08 + 10.28}{4}$$

$$\alpha_m = 20.56$$

Karena $\alpha_m > 2$, maka dipakai perhitungan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3 persamaan 9-13 dimana ketebalan minimum pelat tidak boleh kurang dari:

$$h_{\text{maks}} = \frac{L_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

$$h_{\text{maks}} = \frac{3600 \text{ mm} \left(0.8 + \frac{400 \text{ MPa}}{1400} \right)}{36 + 9(1)} > 90 \text{ mm}$$

$$h_{\text{maks}} = 86.86 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi tebal pelat lantai menggunakan $t = 120 \text{ mm}$.

4.2.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Pemodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang di input adalah sebagai berikut:

1. Perletakan = jepit – sendi – jepit
2. Pembebanan = *Dead Load* (DL) dan *Live Load* (LL)
3. Kombinasi = $1,2DL + 1,6LL$
4. Distribusi = (*Uniform Shell Load*) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.

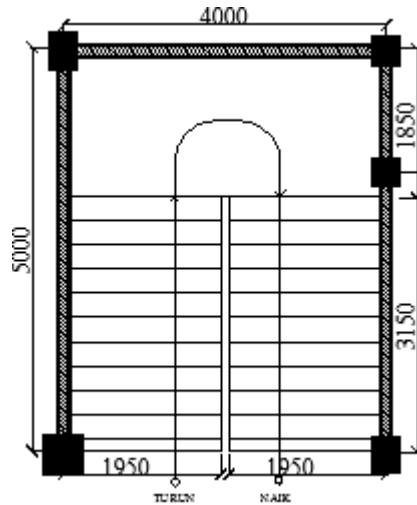
Dalam perencanaan ini, terdapat dua macam tipe tangga yaitu tangga tipe 1 (tangga utama) dan tangga tipe 2 (tangga darurat). Elevasi tiap lantai mempunyai ketinggian yang berbeda. Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 dan tipe 2. Adapun data-data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut:

4.2.5.1 Tangga Tipe 1 (Tangga Utama)

❖ Data-data perencanaan

| | |
|----------------------------|----------------|
| Tipe tangga | = Tangga utama |
| Panjang datar tangga | = 315 cm |
| Tinggi tangga | = 400 cm |
| Tinggi pelat bordes | = 200 cm |
| Tebal rencana pelat tangga | = 12 cm |
| Tebal rencana pelat bordes | = 12 cm |
| Lebar injakan (i) | = 30 cm |
| Tinggi injakan (t) | = 17 cm |
| Lebar bordes | = 185 cm |
| Lebar tangga | = 200 cm |

❖ Gambar denah perencanaan



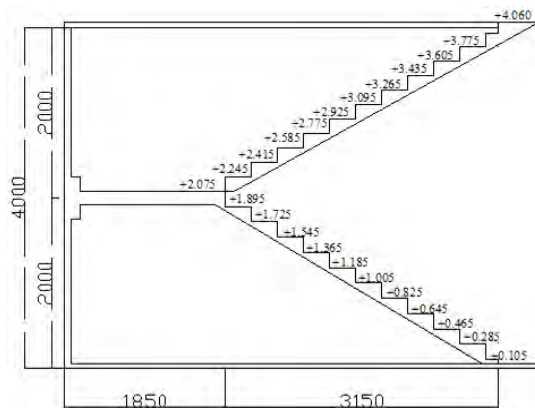
Gambar 4. 9 Denah Perencanaan Tangga 1

- ❖ Perhitungan perencanaan
Panjang miring tangga

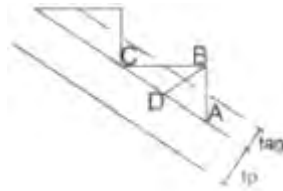
$$\text{Panjang miring} = \sqrt{3.15^2 + 2^2}$$

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{13.9225 \text{ m}^2}$$

$$\text{Panjang miring} = 3.73 \text{ m}$$



Gambar 4. 10 Potongan Tangga Tipe 1

Panjang miring anak tangga

Gambar 4. 11 Zoom Potongan Tangga Tipe 1

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{(30 \text{ cm})^2 + (17 \text{ cm})^2}$$

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{1189 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Panjang miring} = 34.48 \text{ cm}$$

Jumlah tanjakan (nt)

$$nt = \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi tanjakan}} = \frac{400 \text{ cm}}{17 \text{ cm}} = 24 \text{ buah}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{17 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}$$

$$\alpha = 29.54^\circ$$

Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 29.54^\circ \leq 40^\circ \quad \text{memenuhi}$$

Syarat lebar injakan dan tinggi injakan

$$60 \leq 2t + i \leq 65$$

$$60 \leq 2(17 \text{ cm}) + 30 \text{ cm} \leq 65$$

$$60 \leq 64 \text{ cm} \leq 65 \quad \text{memenuhi}$$

Tebal efektif pelat tangga

$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{30 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}}{34.48 \text{ cm}}$$

$$BD = 14.79 \text{ cm}$$

$$\text{Tag} = \frac{2}{3} \times 14.79 \text{ cm}$$

$$\text{Tag} = 9.86 \text{ cm}$$

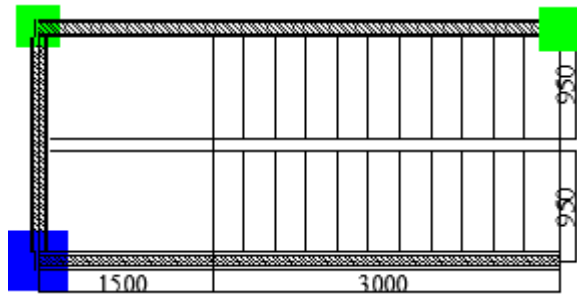
Maka tebal efektif pelat tangga = 15 cm

4.2.5.2 Tangga Tipe 2 (Tangga Darurat)

- ❖ Data-data perencanaan

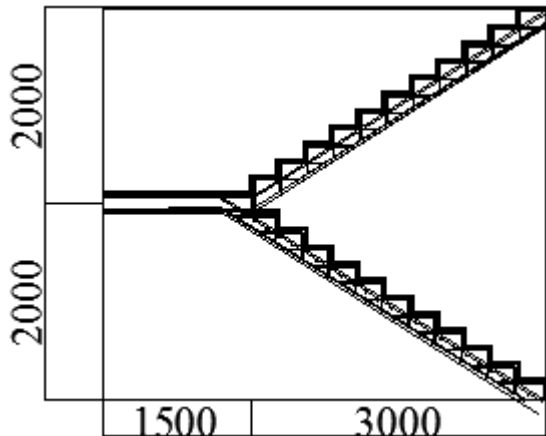
| | |
|----------------------------|------------------|
| Tipe tangga | = Tangga darurat |
| Panjang datar tangga | = 400 cm |
| Tinggi tangga | = 400 cm |
| Tinggi pelat bordes | = 200 cm |
| Tebal rencana pelat tangga | = 12 cm |
| Tebal rencana pelat bordes | = 12 cm |
| Lebar injakan (i) | = 30 cm |
| Tinggi injakan (t) | = 15 cm |
| Lebar bordes | = 150 cm |
| Lebar tangga | = 100 cm |

- ❖ Gambar denah perencanaan



Gambar 4. 12 Denah Perencanaan Tangga 2

❖ Perhitungan perencanaan

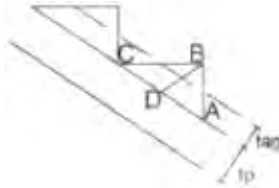
Panjang miring tangga

Gambar 4. 13 Potongan Tangga Tipe 2

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{3 \text{ m}^2 + 2 \text{ m}^2}$$

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{13 \text{ m}^2}$$

$$\text{Panjang miring} = 3.6 \text{ m}$$

Panjang miring anak tangga

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{(27 \text{ cm})^2 + (17 \text{ cm})^2}$$

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{1018 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Panjang miring} = 31.91 \text{ cm}$$

Jumlah tanjakan (nt)

$$nt = \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi tanjakan}} = \frac{200 \text{ cm}}{17 \text{ cm}} = 11.76 \approx 12 \text{ buah}$$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{17 \text{ cm}}{27 \text{ cm}}$$

$$\alpha = 32.195^\circ$$

Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 32.195^\circ \leq 40^\circ \quad \text{memenuhi}$$

Syarat lebar injakan dan tinggi injakan

$$60 \leq 2t + i \leq 65$$

$$60 \leq 2(17 \text{ cm}) + 27 \text{ cm} \leq 65$$

$$60 \leq 61 \text{ cm} \leq 65 \quad \text{memenuhi}$$

Tebal efektif pelat tangga

$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}}{34.48 \text{ cm}}$$

$$BD = 13.42 \text{ cm}$$

$$\text{Tag} = \frac{2}{3} \times 13.42 \text{ cm}$$

$$\text{Tag} = 8.94 \text{ cm}$$

Maka tebal efektif pelat tangga = 15 cm

4.3 Perhitungan Struktur

4.3.1 Pembebanan Struktur

4.3.1.1 Pembebanan Pelat

Pembebanan struktur pelat merupakan komponen struktur sekunder dengan syarat mengalami kehancuran lebih awal daripada komponen struktur primer. Komponen struktur pelat pada perencanaan dimasukkan dalam pemodelan sap 2000, kemudian dilakukan perhitungan komponen struktur pelat lantai atau pelat atap direncanakan, dibebankan dan dihitung sendiri secara manual.

Pembebanan yang terdapat pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Karena struktur pelat merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1, yaitu $1,2DL + 1,6LL$.

❖ **Beban Mati sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 3 :**

Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang

sebenarnya. Berikut perhitungan beban mati sesuai brosur berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya:

1. Plafond dan penggantung
Berat system = 8 kg/m^2
2. Ubin (30 cm x 30 cm)
 $1 \text{ m}^2/\text{box}$, 1 box isi 11 buah, 14-15 kg/box
Maka berat per $\text{m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2$
3. Plesteran $\pm 2\text{-}2.5 \text{ m}^2/8\text{-}10 \text{ mm}$ (40 kg)
Maka berat per $\text{m}^2 = 40 \text{ kg}/2.5 \text{ m}^2 = 16 \text{ kg/m}^2$
4. Aspal = 14 kg/m^2 (PPIUG 1983)
5. Instalasi listrik = 40 kg/m^2 (PPIUG 1983)
6. Plumbing = 25 kg/m^2 (PPIUG 1983)

❖ **Beban Hidup sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 4-1 :**

1. Beban hidup atap = $0.96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$
2. Beban ruang kantor = $2.4 \text{ kN/m}^2 = 240 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup atap tereduksi:

$$L = L_0 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right)$$

Lantai 1 (Loby):

$$L = 240 \text{ kg/m}^2 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{1 \cdot 250.5 \text{ m}^2}} \right)$$

$$L = 129.298 \text{ kg/m}^2$$

Syarat: $L > 0.4L_0$

$$0.4L_0 = 0.4 \times 240 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka:

$$129.298 \text{ kg/m}^2 > 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban yang digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah 129.298 kg/m^2

Lantai 2:

$$L = 240 \text{ kg/m}^2 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{1 \cdot 956.55 \text{ m}^2}} \right)$$

$$L = 95.463 \text{ kg/m}^2$$

Syarat: $L > 0.4L_0$

$$0.4L_0 = 0.4 \times 240 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka:

$$95.463 \text{ kg/m}^2 < 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban yang digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah 96 kg/m^2

Lantai 3:

$$L = 240 \text{ kg/m}^2 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{1 \cdot 966.5 \text{ m}^2}} \right)$$

$$L = 95.280 \text{ kg/m}^2$$

Syarat: $L > 0.4L_0$

$$0.4L_0 = 0.4 \times 240 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka:

$$95.280 \text{ kg/m}^2 < 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban yang digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah 96 kg/m^2

Lantai 4:

$$L = 240 \text{ kg/m}^2 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{1 \cdot 948.5 \text{ m}^2}} \right)$$

$$L = 95.613 \text{ kg/m}^2$$

Syarat: $L > 0.4L_0$

$$0.4L_0 = 0.4 \times 240 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka:

$$95.613 \text{ kg/m}^2 < 96 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban yang digunakan dalam perhitungan beban gempa adalah 96 kg/m^2

$$3. \text{ Beban parkir} = 1.92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$4. \text{ Beban air hujan sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 8}$$

$$R = 0.0098 \times (ds + dh)$$

$$R = 0.0098 \times (50 \text{ mm})$$

$$R = 0.49 \text{ kN/m}^2 = 49 \text{ kg/m}^2$$

4.3.1.2 Pembebanan Tangga

Tak berbeda dengan pembebanan pelat lantai ataupun pelat atap pada tangga, pembebanannya yang terdapat pada komponen struktur disesuaikan dengan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Karena struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 yaitu $1,2DL + 1,6LL$.

❖ Berat pelat tangga

- Beban mati sesuai SNI 1727-2013 pasal 4.5.2

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= 0.15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat spesi (1cm)} &= 1 \times 16 \text{ kg/m}^2 = 16 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat ubin (1cm)} &= 1 \times 15 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 391 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat batang pegangan terpusat} &= 111 \text{ kg} \end{aligned}$$
- Beban hidup sesuai **SNI 1727-2013 pasal 4.5.4**

$$\text{Beban hidup tangga terpusat} = 133 \text{ kg}$$

❖ Berat pelat bordes

- Beban mati sesuai SNI 1727-2013 pasal 4.5.2

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= 0.15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat spesi (1cm)} &= 1 \times 16 \text{ kg/m}^2 = 16 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat ubin (1cm)} &= 1 \times 15 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 391 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat batang pegangan terpusat} &= 111 \text{ kg} \end{aligned}$$
- Beban hidup sesuai SNI 1727-2013 pasal 4.5.4

$$\text{Beban hidup terpusat} = 133 \text{ kg}$$

4.3.1.3 Pembebanan Dinding

Komponen struktur dinding tidak dimasukkan dalam pemodelan sap 2000 sehingga dibebankan/didistribusikan pada komponen yang berada diatas sisi komponen balok. Pendistribusian beban komponen struktur dinding ke komponen balok merupakan distribusi beban tetap (beban mati).

Dikarenakan beban pada komponen dinding yaitu luasan, sedangkan beban pada komponen balok merupakan beban merata, sehingga beban harus dikonversikan ke beban balok. Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan SNI 1727-2013 sebagai berikut:

❖ **Bata ringan citicon**

Tebal = 100 mm

Panjang = 600 mm

Tinggi = 400 mm

Volume 1 bata = $0.1\text{m} \times 0.6\text{m} \times 0.4\text{m} = 0.024\text{ m}^3$

Berat jenis normal (ρ) = 600 kg/m^3

Berat 1 bata = $600\text{ kg/m}^3 \times 0.024\text{ m}^3 = 14.4\text{ kg}$

Kalau dalam 1m^2 isi 10 biji, maka berat per 1m^2 :

$10 \times 14.4\text{ kg} = 144\text{ kg/m}^2$

Perekat bata ringan $\pm 10\text{-}11\text{ m}^2/3\text{ mm}$ (40 kg)

Maka berat per $\text{m}^2 = 40\text{ kg}/10\text{ m}^2 = 4\text{ kg/m}^2$

Plester aci bata ringan $\pm 4.5\text{-}6.5\text{ m}^2/5\text{-}8\text{ mm}$ (50 kg)

Maka berat per $\text{m}^2 = 50\text{ kg}/4.5\text{ m}^2 = 11.11\text{ kg/m}^2$

– **Total**

$144\text{ kg/m}^2 + 4\text{ kg/m}^2 + 11.11\text{ kg/m}^2 = 159.11\text{ kg/m}^2$

– Tinggi dinding tiap lantai

➤ Lantai 1 (H1) = 4 m

➤ Lantai 2 (H2) = 4 m

➤ Lantai 3 (H3) = 4 m

➤ Lantai 4 (H4) = 4 m

➤ Penutup mesin lift = 3 m

– Perhitungan

- Beban merata lantai 1 = $H1 \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= $4 \text{ m} \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= 636.44 kg/m^2
- Beban merata lantai 2 = $H2 \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= $4 \text{ m} \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= 636.44 kg/m^2
- Beban merata lantai 3 = $H3 \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= $4 \text{ m} \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= 636.44 kg/m^2
- Beban merata lantai 4 = $H4 \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= $4 \text{ m} \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= 636.44 kg/m^2
- Penutup mesin lift = $3 \text{ m} \times 159.11 \text{ kg/m}^2$
= 477.33 kg/m^2

Catatan : pada permodelan sap 2000, beban dinding ditambahkan pada balok-balok tertentu, yaitu pada daerah yang terkena beban dinding atau penyekat ruangan.

4.3.1.4 Pembebanan Kolom

Beban pada kolom berupa beban angin ditentukan dengan menggunakan Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) (prosedur pengarah) bagian 1 untuk bangunan gedung dari semua ketinggian. Prosedur ini perlu memisahkan beban angin yang diterapkan ke dinding di sisi angin datang, di sisi angin pergi, dan sisi angin tepi yang ditentukan pada pasal 27.2 sesuai SNI 1727-2013. Berikut perhitungan beban angin:

1. Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain.

Gedung BPKAD termasuk kategori resiko bangunan I.

Tabel 4. 1 Kategori Resiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es (Bangunan Gedung BPKAD)

| Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur | Kategori Resiko |
|---|-----------------|
| Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan resiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan | I |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 1.5-1

2. Menentukan kecepatan angin dasar V
Berdasarkan data BMKG Sumenep kecepatan angin dasar kota sumenep adalah : 45 km/jam = 12.5 m/s

| | | | | | |
|---------|--------------|---------|---------|----|------------|
| Sumenep | Hujan Ringan | 26 - 33 | 65 - 94 | 45 | Barat Laut |
|---------|--------------|---------|---------|----|------------|

Gambar 4. 14 Data Perkiraan Cuaca Provinsi Jawa Timur

Sumber :Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika »
Pusat Meteorologi Publik » Prakiraan Cuaca Propinsi.htm

3. Menentukan parameter beban angin
 - a. Faktor arah angin, K_d sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.6 adalah 0.85 karena bangunan gedung SPBAU. Faktor arah angin K_d harus ditentukan dari tabel berikut:

Tabel 4. 2 Faktor Arah Angin, K_d

| Tipe Struktur | Faktor Arah Angin K_d^* |
|---|---------------------------|
| Bangunan Gedung | |
| Sistem Penahan Beban Angin Utama | 0,85 |
| Komponen dan Klading Bangunan Gedung | 0,85 |
| Atap Lengkung | 0,85 |
| Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama | |
| Segi empat | 0,90 |
| Segi enam | 0,95 |
| Bundar | 0,95 |
| Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat | 0,85 |
| papan reklame terbuka dan kerangka kisi | 0,85 |
| Rangka batang menara | |
| Segi tiga, segi empat, persegi panjang | 0,85 |
| Penampang lainnya | 0,95 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1

- b. Kategori eksposur sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.7.2

Gedung BPKAD dibangun di kota sumenep termasuk dalam eksposur C, yaitu kekasaran permukaan C : dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9.1 m). kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.

- c. Faktor topografi, Kzt sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.8.2

Kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam pasal 26.8.1. maka $K_{zt} = 1$

- d. Faktor efek tiup angin G sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.9

Faktor efek tiup angin untuk suatu bangunan gedung yang kaku boleh diambil sebesar 0.85. untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung adalah kaku atau fleksibel, maka dapat dilihat dari nilai frekuensi alami perkiraan n_a yang boleh dihitung sesuai pasal 26.9.3 untuk bangunan beton bangunan rangka-penahan-momen yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Tinggi bangunan kurang dari atau sama dengan 300 ft (91 m), dan
2. Tinggi bangunan kurang dari 4 kali panjang efektifnya, L_{eff}

Tabel 4. 3 Perhitungan L_{eff}

| h_i (m) | L_i (m) | $h_i \cdot L_i$ (m^2) |
|--------------|--------------|------------------------------|
| 4 | 26 | 104 |
| 4 | 26 | 104 |
| 4 | 26 | 104 |
| 4 | 26 | 104 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3 | 6 | 18 |
| 19 | | 434 |

$$L_{\text{eff}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i L_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

Dimana :

h_i adalah tinggi di atas kelas level i

L_i adalah panjang bangunan gedung di level i sejajar dengan arah angin

Maka:

$$L_{\text{eff}} = \frac{434 \text{ m}^2}{19 \text{ m}} = 22.842 \text{ m}$$

Karena memenuhi persyaratan tersebut, maka digunakan persamaan 26.9-3 dalam pasal 26.9.3 untuk beton bangunan rangka penahan momen:

$$n_a = 43.5/h^{0.9}$$

$$n_a = 43.5/19 \text{ m}^{0.9}$$

$$n_a = 3.0733 \text{ Hz}$$

Sebagaimana didefinisikan dalam pasal 26.2, bahwa bangunan fleksibel adalah bangunan gedung dan struktur lain yang langsing dengan frekuensi alami fundamental kurang dari 1 Hz. Maka bangunan gedung BPKAD ini termasuk bangunan kaku dengan faktor efek tiup angin $G = 0.85$.

- e. Klasifikasi ketertutupan sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.10

Bangunan gedung tertutup batu bata ringan, maka bangunan termasuk bangunan tertutup.

- f. Koefisien tekanan internal, GC_{pi} sesuai SNI 1727-2013 pasal 26.11. $GC_{pi} = + 0.18$ dan $- 0.18$

Tabel 4. 4 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})

| Klasifikasi Ketertutupan | (GC_{pi}) |
|-----------------------------------|------------------|
| Bangunan gedung terbuka | 0,00 |
| Bangunan gedung tertutup sebagian | + 0,55 - 0,55 |
| Bangunan gedung tertutup | + 0,18 - 0,18 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.11-1

4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h sesuai SNI 1727-2013 pasal 27.3.1

K_h adalah koefisien eksposur tekanan velositas pada ketinggian $z = h$, maka $K_z = K_h$.

Berdasarkan kategori eksposurnya, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h , harus ditentukan dalam tabel berikut melalui perhitungan interpolasi.

Tabel 4. 5 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z

| Tinggi di atas level tanah, z | | Eksposur | | |
|-------------------------------|---------|----------|------|------|
| | | B | C | D |
| ft | (m) | | | |
| 0-15 | (0-4,6) | 0,57 | 0,85 | 1,03 |
| 20 | (6,1) | 0,62 | 0,90 | 1,08 |
| 25 | (7,6) | 0,66 | 0,94 | 1,12 |
| 30 | (9,1) | 0,70 | 0,98 | 1,16 |
| 40 | (12,2) | 0,76 | 1,04 | 1,22 |
| 50 | (15,2) | 0,81 | 1,09 | 1,27 |
| 60 | (18) | 0,85 | 1,13 | 1,31 |
| 70 | (21,3) | 0,89 | 1,17 | 1,34 |
| 80 | (24,4) | 0,93 | 1,21 | 1,38 |
| 90 | (27,4) | 0,96 | 1,24 | 1,40 |
| 100 | (30,5) | 0,99 | 1,26 | 1,43 |
| 120 | (36,6) | 1,04 | 1,31 | 1,48 |
| 140 | (42,7) | 1,09 | 1,36 | 1,52 |
| 160 | (48,8) | 1,13 | 1,39 | 1,55 |
| 180 | (54,9) | 1,17 | 1,43 | 1,58 |
| 200 | (61,0) | 1,20 | 1,46 | 1,61 |
| 250 | (76,2) | 1,28 | 1,53 | 1,68 |
| 300 | (91,4) | 1,35 | 1,59 | 1,73 |
| 350 | (106,7) | 1,41 | 1,64 | 1,78 |
| 400 | (121,9) | 1,47 | 1,69 | 1,82 |
| 450 | (137,2) | 1,52 | 1,73 | 1,86 |
| 500 | (152,4) | 1,56 | 1,77 | 1,89 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 27.3-1

Dengan tinggi 19 m didapat eksposur C, dapat dihitung nilai K_z :

$$\frac{21.3 \text{ m} - 18 \text{ m}}{1.17 - 1.13} = \frac{19 \text{ m} - 18 \text{ m}}{x - 1.13}$$

$$(x - 1.13) 3.3 \text{ m} = 0.04 (1\text{m})$$

$$x = K_z = 1.142121212$$

Koefisien eksposur tekanan velositas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha}$$

$$\alpha = 9.5$$

$$Z_g = 274.32 \text{ m}$$

$$z = 19 \text{ m}$$

α dan Z_g ditabulasi dalam tabel berikut:

Tabel 4. 6 Konstanta Eksposur Daratan

| Eksposur | α | Z_g (ft) | a | b | $\bar{\alpha}$ | \bar{b} | c | ℓ (ft) | \bar{e} | Z_{min} (m)* |
|----------|----------|------------|--------|------|----------------|-----------|------|-------------|-----------|----------------|
| B | 7,0 | 365,76 | 1/7 | 0,84 | 1/4,0 | 0,45 | 0,30 | 97,54 | 1/3,0 | 9,14 |
| C | 9,5 | 274,32 | 1/9,5 | 1,00 | 1/6,5 | 0,65 | 0,20 | 152,4 | 1/5,0 | 4,57 |
| D | 11,5 | 213,36 | 1/11,5 | 1,07 | 1/9,0 | 0,80 | 0,15 | 198,12 | 1/6,0 | 2,13 |

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1

Maka didapat nilai:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{19 \text{ m}}{274.32 \text{ m}} \right)^{2/9.5}$$

$$K_z = 1.1458$$

Dari dua nilai K_z tersebut dipilih nilai yang terbesar, maka K_z yang dipakai adalah 1.1458

- Menentukan tekanan velositas q atau q_h sesuai SNI 1727-2013 pasal 27.3.2
 q_h adalah tekanan velositas pada ketinggian $z = h$, maka $q_h = q_z$.

Tekanan velositas q_z dapat ditentukan dari formula berikut:

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2$$

$$q_z = 0.613 \times 1.1458 \times 1 \times 0.85 \times 12.5 \text{ m/s}$$

$$q_z = 93.280186$$

6. Menentukan koefisien tekanan eksternal, C_p atau C_N sesuai SNI 1727-2013 pasal 27.3.2

L : dimensi horizontal bangunan gedung, diukur sejajar terhadap arah angin = 42 m

B : dimensi horizontal bangunan gedung, diukur tegak lurus terhadap arah angin = 26 m

$$\frac{L}{B} = \frac{42 \text{ m}}{26 \text{ m}} = 1.6154$$

Koefisien tekanan eksternal, C_p didapatkan dari tabel berikut:

Tabel 4. 7 Koefisien Tekanan Eksternal, C_p

| Permukaan | Koefisien tekanan dinding, C_p | | Digunakan dengan |
|------------------------------|----------------------------------|-------|------------------|
| | L/B | C_p | |
| Dinding di sisi angin datang | Seluruh nilai | 0.8 | q_z |
| | 0 – 1 | - 0.5 | |
| Dinding di sisi angin pergi | 2 | - 0.3 | q_n |
| | ≥ 4 | - 0.2 | |
| Dinding tepi | Seluruh nilai | - 0.7 | q_n |

Sumber: SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1

C_p angin datang = 0.85

C_p angin pergi didapatkan dari interpolasi linear

$$\frac{2 - 1}{(-0.3) - (-0.5)} = \frac{1.6154 - 1}{x - (-0.5)}$$

$$(x + 0.5) 1 = 0.6154 (0.2)$$

$$C_p \text{ anginpergi} = x = -0.377$$

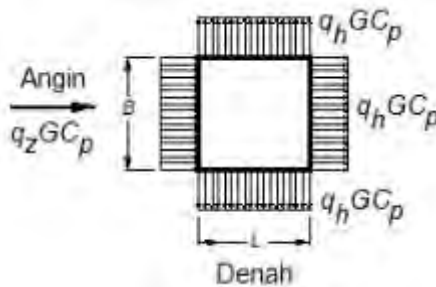
$$C_p \text{ angin tepi} = -0.7$$

7. Menghitung tekanan angin p pada setiap permukaan bangunan gedung sesuai SNI 1727-2013 pasal 27.4

Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung dari semua ketinggian harus ditentukan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Angin datang} &= q_z \cdot GC_p \\
 &= 93.28 \times 0.85 \times 0.85 \\
 &= 63.431 \text{ N/m}^2 = 6.3431 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Angin pergi} &= q_z \cdot GC_p \\
 &= 93.28 \times 0.85 \times (-0.377) \\
 &= -29.885 \text{ N/m}^2 = -2.9885 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Angin datang} &= q_z \cdot GC_p \\
 &= 93.28 \times 0.85 \times (-0.7) \\
 &= -55.502 \text{ N/m}^2 = -5.5502 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

8. Distribusi beban angin



Gambar 4. 15 Ketentuan Distribusi Bangunan Gedung Tertutup Atap Datar

Sumber: SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1

Angin datang :

Angin datang hanya didistribusikan ke arah sumbu Y, berikut perhitungan kolom yang terbebani beban angin datang arah Y:

$$\begin{aligned}
 \text{Kolom 1'} &= 4.5 \text{ m} \times 6.3431 \text{ kg/m}^2 = 28.544 \text{ kg/m} \\
 \text{Kolom 3} &= 7.5 \text{ m} \times 6.3431 \text{ kg/m}^2 = 47.573 \text{ kg/m} \\
 \text{Kolom 4} &= 7.5 \text{ m} \times 6.3431 \text{ kg/m}^2 = 47.573 \text{ kg/m} \\
 \text{Kolom 5'} &= 4.5 \text{ m} \times 6.3431 \text{ kg/m}^2 = 28.544 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Angin pergi:

Angin datang didistribusikan ke arah sumbu X dan sumbu Y, berikut perhitungan kolom yang terbebani beban angin pergi arah X:

$$\text{Kolom A'} = 4 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -11.954 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom B} = 6.5 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -19.425 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom C} = 8 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -23.908 \text{ kg/m}$$

Perhitungan kolom yang terbebani beban angin pergi arah Y:

$$\text{Kolom 2} = 8 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -23.908 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom 3} = 7.5 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -22.414 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom 4} = 7.5 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -22.414 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom 5} = 8 \text{ m} \times -2.9885 \text{ kg/m}^2 = -23.908 \text{ kg/m}$$

Angin Tepi:

Angin datang didistribusikan ke arah sumbu X dan sumbu Y, berikut perhitungan kolom yang terbebani beban angin tepi arah X:

$$\text{Kolom A} = 3.5 \text{ m} \times -5.5502 \text{ kg/m}^2 = -19.426 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom D} = 4 \text{ m} \times -5.5502 \text{ kg/m}^2 = -22.201 \text{ kg/m}$$

Perhitungan kolom yang terbebani beban angin tepi arah Y:

$$\text{Kolom 1} = 2.5 \text{ m} \times -5.5502 \text{ kg/m}^2 = -13.875 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom 2} = 6 \text{ m} \times -5.5502 \text{ kg/m}^2 = -33.301 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom 5} = 6 \text{ m} \times -5.5502 \text{ kg/m}^2 = -33.301 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kolom 6} = 2.5 \text{ m} \times -5.5502 \text{ kg/m}^2 = -13.875 \text{ kg/m}$$

4.3.1.5 Pembebanan Gempa**❖ Pengaruh Beban Gempa Vertikal**

$$\begin{aligned} E_v &= 0.2 S_{DS} D \\ &= 0.2 \times (0.32) \times D \\ &= 0.064 D \end{aligned}$$

Input beban gaya gempa vertical ini langsung bisa diinput dalam kombinasi program analisa struktur, menjadi:

- A. Ketahanan struktur terhadap beban gempa yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati :

$$(1) \quad 1,2D + 0.064D + 1,0 E + L$$

$$(2) \quad 0,9D + 0.064D + 1,0 E$$

- B. Kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin :

$$(3) \quad D + 0.064D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75(Lr \text{ atau } R)$$

$$(4) \quad 0,6D + 0.064D + 0,7E$$

❖ Pengaruh Beban Gempa Horisontal

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan berdasarkan metode statik ekuivalen. Dengan parameter-parameter sebagai berikut :

1. Tahanan penetrasi standart rata-rata:

Tabel 4. 8 Tahanan Penetrasi Tanah

| Lapisan ke- <i>i</i> | Tebal lapisan (<i>d_i</i>) | Jenis Tanah | Nilai N-SPT |
|----------------------|--|--------------------------------------|-------------|
| 1 | 6 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 50.50 |
| 2 | 4 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 47.50 |
| 3 | 12 | Lempung berlanau berpasir | 53.67 |
| 4 | 3 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 60.00 |
| 5 | 5 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 57.33 |

$$\bar{N} = \frac{\sum_{t=1}^n di}{\sum_{t=1}^n \bar{N}_i} = \frac{30}{0.564} = 53.207$$

2. Sesuai tabel 2.1 klasifikasi situs, apabila $N = 53.207 > 50$ maka tanah masuk ke dalam kelas situs C (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)
3. Lihat gambar 2.1 PETA HAZARD : Lokasi Sumenep
 $S_s = 0.4$ g
4. Lihat gambar 2.2 PETA HAZARD : Lokasi Sumenep
 $S_1 = 0.15$ g
5. Lihat tabel 2.2 koefisien situs F_a
 $F_a = 1.2$
6. Lihat tabel 2.3 koefisien situs F_v
 $F_v = 1.65$
7. SMS
 $= F_a \times S_s$
 $= 1.2 \times 0.4 = 0.48$
8. SM1
 $= F_v \times S_1$
 $= 1.65 \times 0.15 = 0.2475$
9. SDS
 $= (2/3) \times SMS$
 $= (2/3) \times 0.48 = 0.320$
10. SD1
 $= (2/3) \times SM1$
 $= (2/3) \times 0.2475 = 0.165$

Tabel 4. 9 Perhitungan Berat Komponen Bangunan

| Komponen | Total Panjang (m) | Berat (kg) |
|------------------------|-------------------|------------|
| Balok Induk 45/65 | 1260.5 | 884871 |
| Balok Anak 35/50 | 1269.45 | 533169 |
| Balok Kantilever 25/35 | 360 | 75600 |
| Sloof 50/65 | 463.5 | 361530 |
| Balok Bordes 35/50 | 28 | 11760 |
| Kolom 1 50/50 | 416 | 249600 |
| Kolom 2 35/35 | 113 | 33222 |

| | | |
|---------------|--------|------------------|
| Kolom 3 35/45 | 117 | 44226 |
| Kolom 4 15/30 | 32 | 3456 |
| Pelat Tangga | 105.83 | 38099.794 |
| Pelat Bordes | 42.2 | 15192 |
| Σ | | 2250725.8 |

Tabel 4. 10 Berat Frame hasil Output SAP

| TABLE: Groups 3 - Masses and Weights | | | | | |
|---|------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Group Name | Self Mass | Self Weight | Total Mass X | Total Mass Y | Total Mass Z |
| Text | Kgf-s2/m | Kgf | Kgf-s2/m | Kgf-s2/m | Kgf-s2/m |
| ALL | 355264.66 | 2250725.8 | 355264.66 | 355264.66 | 355264.66 |

Perhitungan Perhitungan Manual Sudah hampir mendekati Perhitungan dengan SAP, sehingga perhitungan berat struktur bisa dilanjutkan ke perhitungan selanjutnya.

Berat Struktur Bangunan Per-Lantai

W0 (Lantai Dasar)

Berat Frame

| | | | |
|-----------------------------|---|--------|----|
| Sloof (50/65) | = | 361530 | kg |
| Kolom | = | 40872 | kg |
| Balok Bordes (35/50) | = | 3360 | kg |
| Pelat Lantai Lobby (7 cm) | = | 60120 | kg |
| Pelat Parkiran (5 cm) | = | 159480 | kg |
| Tangga Utama bag.1 (15 cm) | = | 2685.6 | kg |
| Tangga Kiri bag.1 (15 cm) | = | 1375.2 | kg |
| Tangga Kanan bag.1 (15 cm) | = | 1375.2 | kg |
| Bordes Utama (15 cm) | = | 2664 | kg |
| Bordes Tangga Kiri (15 cm) | = | 900 | kg |
| Bordes Tangga Kanan (15 cm) | = | 900 | kg |

Berat Mati Tambahan

| | | | |
|-------------|---|----------|----|
| Dinding | = | 80827.88 | kg |
| Spesi (1cm) | = | 4448 | kg |
| Ubin (1cm) | = | 4170 | kg |

Beban Hidup Tereduksi

| | | | |
|-----------------------------|---|------------------|-----------|
| Beban hidup bordes | = | 732 | kg |
| Beban hidup tangga | = | 732 | kg |
| Beban hidup parkir | = | 127584 | kg |
| Beban hidup loby | = | 60120 | kg |
| TOTAL BERAT STRUKTUR | | 816099.88 | kg |

W1**Berat Frame**

| | | | |
|-----------------------------|---|----------|----|
| Kolom | = | 80568 | kg |
| Balok Induk (45/65) | = | 222534 | kg |
| Balok Anak (35/50) | = | 128184 | kg |
| Balok Kantilever (25/35) | = | 19110 | kg |
| Balok Bordes (35/50) | = | 3360 | kg |
| Pelat Lantai 2 (12 cm) | = | 275486.4 | kg |
| Tangga Utama bag.1&2 | = | 5371.2 | kg |
| Tangga Kiri bag.1&2 | = | 2750.4 | kg |
| Tangga Kanan bag.1&2 | = | 2750.4 | kg |
| Bordes Utama (15 cm) | = | 2664 | kg |
| Bordes Tangga Kiri (15 cm) | = | 900 | kg |
| Bordes Tangga Kanan (15 cm) | = | 900 | kg |

Berat Mati Tambahan

| | | | |
|-----------------------|---|-----------|----|
| Dinding | = | 158950.89 | kg |
| Spesi (1cm) | = | 15986.4 | kg |
| Ubin (1cm) | = | 14987.25 | kg |
| Plafond & penggantung | = | 7652.4 | kg |
| Instalasi listrik | = | 38262 | kg |
| Plumbing | = | 23913 | kg |

Beban Hidup Tereduksi

| | | | |
|-----------------------------|---|-------------------|-----------|
| Beban hidup bordes | = | 732 | kg |
| Beban hidup tangga | = | 1464 | kg |
| Beban hidup perkantoran | = | 229572 | kg |
| TOTAL BERAT STRUKTUR | | 1236099.09 | kg |

W2

Berat Frame

| | | | |
|-----------------------------|---|--------|----|
| Kolom | = | 79392 | kg |
| Balok Induk (45/65) | = | 222885 | kg |
| Balok Anak (35/50) | = | 130515 | kg |
| Balok Kantilever (25/35) | = | 20370 | kg |
| Balok Bordes (35/50) | = | 3360 | kg |
| Pelat Lantai 3 (12 cm) | = | 278352 | kg |
| Tangga Utama bag.1&2 | = | 5371.2 | kg |
| Tangga Kiri bag.1&2 | = | 2750.4 | kg |
| Tangga Kanan bag.1&2 | = | 2750.4 | kg |
| Bordes Utama (15 cm) | = | 2664 | kg |
| Bordes Tangga Kiri (15 cm) | = | 900 | kg |
| Bordes Tangga Kanan (15 cm) | = | 900 | kg |

Berat Mati Tambahan

| | | | |
|-----------------------|---|----------|----|
| Dinding | = | 157518.9 | kg |
| Spesi (1cm) | = | 16145.6 | kg |
| Ubin (1cm) | = | 15136.5 | kg |
| Plafond & penggantung | = | 7732 | kg |
| Instalasi listrik | = | 38660 | kg |
| Plumbing | = | 24162.5 | kg |

Beban Hidup Tereduksi

| | | | |
|-------------------------|---|--------|----|
| Beban hidup bordes | = | 732 | kg |
| Beban hidup tangga | = | 1464 | kg |
| Beban hidup perkantoran | = | 231960 | kg |

TOTAL BERAT STRUKTUR 1243721.50 kg

W3**Berat Frame**

| | | | |
|--------------------------|---|--------|----|
| Kolom | = | 79392 | kg |
| Balok Induk (45/65) | = | 219726 | kg |
| Balok Anak (35/50) | = | 130200 | kg |
| Balok Kantilever (25/35) | = | 18060 | kg |
| Balok Bordes (35/50) | = | 1680 | kg |
| Pelat Lantai 4 (12 cm) | = | 278352 | kg |
| Tangga Utama bag. 2 | = | 2685.6 | kg |

| | | | |
|-----------------------------|---|--------|----|
| Tangga Kiri bag.1&2 | = | 2750.4 | kg |
| Tangga Kanan bag.1&2 | = | 2750.4 | kg |
| Bordes Tangga Kiri (15 cm) | = | 900 | kg |
| Bordes Tangga Kanan (15 cm) | = | 900 | kg |

Berat Mati Tambahan

| | | | |
|-----------------------|---|------------|----|
| Dinding | = | 148051.855 | kg |
| Spesi (1cm) | = | 15619.84 | kg |
| Ubin (1cm) | = | 14643.6 | kg |
| Plafond & penggantung | = | 7588 | kg |
| Instalasi listrik | = | 37940 | kg |
| Plumbing | = | 23712.5 | kg |

Beban Hidup Tereduksi

| | | | |
|-------------------------|---|--------|----|
| Beban hidup bordes | = | 488 | kg |
| Beban hidup tangga | = | 1220 | kg |
| Beban hidup perkantoran | = | 227640 | kg |

TOTAL BERAT STRUKTUR 1209116.20 kg

W4

Berat Frame

| | | | |
|--------------------------|---|--------|----|
| Kolom | = | 47760 | kg |
| Balok Induk (45/65) | = | 219726 | kg |
| Balok Anak (35/50) | = | 132720 | kg |
| Balok Kantilever (25/35) | = | 18060 | kg |
| Pelat Lantai 5 (12 cm) | = | 273168 | kg |
| Tangga Kiri bag. 2 | = | 1375.2 | kg |
| Tangga Kanan bag. 2 | = | 1375.2 | kg |

Berat Mati Tambahan

| | | | |
|-----------------------|---|------------|----|
| Dinding | = | 75219.2525 | kg |
| Spesi (1cm) | = | 122.24 | kg |
| Ubin (1cm) | = | 114.6 | kg |
| Plafond & penggantung | = | 7588 | kg |
| Instalasi listrik | = | 37940 | kg |
| Plumbing | = | 23712.5 | kg |
| Aspal | = | 13279 | kg |

Beban Hidup Tereduksi

| | | | |
|-----------------------------|---|------------------|-----------|
| Beban hidup balok lift | = | 43614 | kg |
| Beban hidup tangga | = | 488 | kg |
| Beban hidup atap | = | 91056 | kg |
| TOTAL BERAT STRUKTUR | | 987317.99 | kg |

W5

Berat Frame

| | | | |
|----------------------|---|---------|----|
| Kolom | = | 5292 | kg |
| Balok lift (35/50) | = | 11569.6 | kg |
| Pelat Lantai (12 cm) | = | 5472 | kg |

Berat Mati Tambahan

| | | | |
|-------------------|---|-----------|----|
| Dinding | = | 6563.2875 | kg |
| Instalasi listrik | = | 760 | kg |
| Plumbing | = | 475 | kg |
| Aspal | = | 266 | kg |

Beban Hidup Tereduksi

| | | | |
|-----------------------------|---|-----------------|-----------|
| Beban hidup atap | = | 1824 | kg |
| TOTAL BERAT STRUKTUR | | 32221.89 | kg |

$$\begin{aligned} \mathbf{W \text{ total}} &= 816099.88 + 1236099.09 + 1243721.50 + \\ &1209116.20 + 987317.99 + 32221.89 \\ &= 5524576.55 \text{ kg} = 5524.57655 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk bangunan gedung perkantoran dengan sistem rangka pemikul momen menengah yang memiliki kategori resiko II berdasarkan tabel 2.12 dan faktor keutamaan (I_e) 1 berdasarkan tabel 2.13, maka berdasarkan tabel 2.14 didapatkan koefisien modifikasi respons (R_a) dari struktur tersebut adalah 5. Kemudian dapat dihitung periode getar fundamental, dimana nilai (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari tabel 2.10 dan perioda fundamental pendekatan (T_a) sebagai berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$T_a = 0.0466 \cdot 19^{0.9}, h_n = 19 \text{ m}$$

$$T_a = 0.65957 \text{ detik}$$

Kemudian dicari nilai C_u melalui interpolasi linear:

| Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1} | Koefisien C_u |
|--|-----------------|
| $\geq 0,4$ | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| $\leq 0,1$ | 1,7 |

$$\frac{0.2 - 0.15}{(1.5) - (1.6)} = \frac{0.165 - 0.2}{x - (1.5)}$$

$$(x - 1.5) 0.05 = (-1.835) (-0.1)$$

$$C_u = x = 1.57$$

$$T = C_u \cdot T_a$$

$$= 1.57 \times 0.65957 = 1.03553 \text{ detik}$$

$$T_c = 0.64523$$

T_c = periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

Periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

Jika $T_c > C_u T_a$ gunakan $T = C_u T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

Karena didapatkan hasil $T_c < T_a$

Maka $T = T_a = 0.65957$

Dan koefisien beban dinamik (C_s), harus ditentukan sesuai dengan:

$$C_s = \frac{SD_s}{R/I_e}$$

$$C_s = \frac{0.32}{5/1} = 0.064$$

Nilai C_s tersebut tidak perlu melebihi:

$$C_s = \frac{SD_1}{T(R/I_e)}$$

$$C_s = \frac{0.165}{0.65957 \left(\frac{5}{1} \right)} = 0.05$$

Dan harus lebih besar dari:

$$C_s = 0.044 \text{ SDs } I_e \\ = 0.044 \times 0.32 \times 1 = 0.01408$$

Dengan demikian C_s yang digunakan adalah 0.064, dengan berat W total = 5524.57655 ton, didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut:

$$V = C_s \times W_t \\ = 0.064 \times 5524.57655 \text{ ton} \\ = 353,5728989 \text{ ton} = 353572.8989 \text{ kg}$$

Setelah mendapatkan gaya dasar akan dihitung gempa perantai dengan rumus berikut:

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$$

Untuk $T \leq 0.5 \text{ s}$; maka nilai $k = 1$

Untuk $T \leq 2.5 \text{ s}$; maka nilai $k = 2$

Untuk $0.5 \text{ s} \leq T \leq 2.5 \text{ s}$; maka nilai k diperoleh dengan cara interpolasi.

$$\frac{0.25 - 0.5}{2 - 1} = \frac{0.65957 - 0.5}{x - 1} \\ (x - 1)(-0.25) = (1)(0.15957) \\ k = x = 1.072615$$

Hasil gaya perantai akan disajikan dalam bentuk tabel

Tabel 4. 11 Gaya Gempa Perantai

| Lantai ke | W_i (Kg) | H_i (m) | $W h_k$ (kgm) | F_i (kg) |
|-----------|------------|-----------|---------------|------------|
| 0 | 816099.88 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1236099.09 | 4 | 5468042.284 | 10337.184 |
| 2 | 1243721.50 | 8 | 11571535.93 | 22316.291 |
| 3 | 1209116.20 | 12 | 17378569.71 | 33908.703 |
| 4 | 987317.99 | 16 | 19320315.17 | 38010.698 |

| | | | | |
|----------|------------|----|-------------|-------------|
| 5 | 32221.89 | 19 | 758160.7037 | 1498.995 |
| Σ | 5524576.55 | | 54496623.81 | 353572.8989 |

Dari gaya gempa perlantai kemudian didistribusikan ke tiap joint lantai. Pendistribusian ini dilakukan di ke empat sisinya dengan arah yang berbeda.

Tabel 4. 12 Gaya Gempa Perjoint

| SUMBU X | | | SUMBU Y | | |
|----------|----------|----|----------|---------|----|
| Lantai 2 | | | Lantai 2 | | |
| As A | 2217.28 | kg | As 1 | 1773.83 | kg |
| As A' | 5912.76 | kg | As 1' | 3991,11 | kg |
| As B | 9608.23 | kg | As 2 | 5321.48 | kg |
| As C | 11825.51 | kg | As 3 | 6651.85 | kg |
| As D | 5912.76 | kg | As 4 | 6651.85 | kg |
| | | | As 5 | 5321.48 | kg |
| | | | As 5' | 3991,11 | kg |
| | | | As 6 | 1773.83 | kg |

| | | | | | |
|----------|----------|----|----------|----------|----|
| Lantai 3 | | | Lantai 3 | | |
| As A | 4692.24 | kg | As 1 | 3753.79 | kg |
| As A' | 12512.65 | kg | As 1' | 8446.04 | kg |
| As B | 20333.05 | kg | As 2 | 11261.38 | kg |
| As C | 25025.29 | kg | As 3 | 14076.73 | kg |
| As D | 12512.65 | kg | As 4 | 14076.73 | kg |
| | | | As 5 | 11261.38 | kg |
| | | | As 5' | 8446.04 | kg |
| | | | As 6 | 3753.79 | kg |

| | | | | | |
|----------|----------|----|----------|----------|----|
| Lantai 4 | | | Lantai 4 | | |
| As A | 7046.99 | kg | As 1 | 5637.59 | kg |
| As A' | 18791.96 | kg | As 1' | 12684.58 | kg |
| As B | 30536.94 | kg | As 2 | 16912.77 | kg |

| | | | | | |
|------|----------|----|-------|----------|----|
| As C | 37583.93 | kg | As 3 | 21140.96 | kg |
| As D | 18791.96 | kg | As 4 | 21140.96 | kg |
| | | | As 5 | 16912.77 | kg |
| | | | As 5' | 12684.58 | kg |
| | | | As 6 | 5637.59 | kg |

| | | | | | |
|----------|----------|----|----------|----------|----|
| Lantai 5 | | | Lantai 5 | | |
| As A | 7834.36 | kg | As 1 | 6267.49 | kg |
| As A' | 20891.63 | kg | As 1' | 14101.85 | kg |
| As B | 33948.90 | kg | As 2 | 18802.47 | kg |
| As C | 41783.26 | kg | As 3 | 23503.08 | kg |
| As D | 20891.63 | kg | As 4 | 23503.08 | kg |
| | | | As 5 | 18802.47 | kg |
| | | | As 5' | 14101.85 | kg |
| | | | As 6 | 6267.49 | kg |

| | | | | | |
|--------------|---------|----|--------------|---------|----|
| Penutup Lift | | | Penutup Lift | | |
| As A'' | 819.82 | kg | As 1 | 1024.78 | kg |
| As A''' | 1639.64 | kg | As 1° | 1024.78 | kg |
| As B | 819.82 | kg | As 2' | 1434.69 | kg |
| As C | 819.82 | kg | As 3 | 1434.69 | kg |
| As C' | 819.82 | kg | | | |

Tabel 4. 13 Gaya Gempa Perjoint dengan Arah Berlawanan

| SUMBU -X | | | SUMBU -Y | | |
|----------|----------|----|----------|---------|----|
| Lantai 2 | | | Lantai 2 | | |
| As A | 2217.28 | kg | As 1 | 5490.42 | kg |
| As A' | 5912.76 | kg | As 2 | 6757.44 | kg |
| As B | 9608.23 | kg | As 3 | 6335.10 | kg |
| As C | 11825.51 | kg | As 4 | 6335.10 | kg |
| As D | 5912.76 | kg | As 5 | 6757.44 | kg |
| | | | As 6 | 3801.06 | kg |

| Lantai 3 | | | Lantai 3 | | |
|----------|----------|----|----------|----------|----|
| As A | 4692.24 | kg | As 1 | 11618.88 | kg |
| As A' | 12512.65 | kg | As 2 | 14300.17 | kg |
| As B | 20333.05 | kg | As 3 | 13406.41 | kg |
| As C | 25025.29 | kg | As 4 | 13406.41 | kg |
| As D | 12512.65 | kg | As 5 | 14300.17 | kg |
| | | | As 6 | 8043.84 | kg |

| Lantai 4 | | | Lantai 4 | | |
|----------|----------|----|----------|----------|----|
| As A | 7046.99 | kg | As 1 | 17449.68 | kg |
| As A' | 18791.96 | kg | As 2 | 21476.53 | kg |
| As B | 30536.94 | kg | As 3 | 20134.25 | kg |
| As C | 37583.93 | kg | As 4 | 20134.25 | kg |
| As D | 18791.96 | kg | As 5 | 21476.53 | kg |
| | | | As 6 | 12080.55 | kg |

| Lantai 5 | | | Lantai 5 | | |
|----------|----------|----|----------|----------|----|
| As A | 7834.36 | kg | As 1 | 19399.37 | kg |
| As A' | 20891.63 | kg | As 2 | 23876.15 | kg |
| As B | 33948.90 | kg | As 3 | 22383.89 | kg |
| As C | 41783.26 | kg | As 4 | 22383.89 | kg |
| As D | 20891.63 | kg | As 5 | 23876.15 | kg |
| | | | As 6 | 13430.33 | kg |

| Penutup Lift | | | Penutup Lift | | |
|--------------|---------|----|--------------|---------|----|
| As A'' | 819.82 | kg | As 1 | 1024.78 | kg |
| As A''' | 1639.64 | kg | As 1° | 1024.78 | kg |
| As B | 819.82 | kg | As 2' | 1434.69 | kg |
| As C | 819.82 | kg | As 3 | 1434.69 | kg |
| As C' | 819.82 | kg | | | |

4.4 Perhitungan Tulangan Pelat

4.4.1 Perencanaan Pelat

Perencanaan ini menggunakan pelat cor di tempat yang dalam perhitungan dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Pelat satu arah, yaitu pelat yang rasio panjang dengan lebarnya sama dengan 2, atau lebih dari 2.
2. Pelat dua arah, yaitu pelat yang rasio panjang dengan lebarnya kurang dari 2.

Pemodelan struktur yang digunakan pada gedung BPKAD adalah system rangka pemikul momen, dimana pelat difokuskan hanya menerima beban gravitasi. Tumpuan pada sisi-sisi pelat diasumsikan sebagai perletakan jepit penuh.

Berikut adalah perencanaan penulangan semua tipe pelat:

4.4.1.1 Pembebanan Pelat

Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya sesuai **SNI 03-1727-2013 pasal 3** dan **PPIUG 1983 tabel 2.1**. Sedangkan untuk beban hidup sesuai dengan **SNI 03-1727-2013 tabel 4-1**.

A. Pembebanan Pelat Atap

❖ Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pelat (12 cm)} &= 0.12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Aspal} &= 1 \times 14 \text{ kg/m}^2 = 14 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Plafond dan penggantung} &= 8 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Plumbing} &= 25 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Instalasi listrik} &= 40 \text{ kg/m}^2 + \\
 &\text{qDL} = 378 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

❖ Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup atap} &= 96 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban air hujan} &= 49 \text{ kg/m}^2 + \\
 &\text{QLL} = 145 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

❖ Beban ultimate

$$\begin{aligned}
 U &= 1.2 (\text{DL}) + 1.6 (\text{LL}) \\
 &= 1.2 (378 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (145 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 682 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

B. Pembebanan Pelat Lantai

- ❖ Beban Mati

| | | |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| Berat pelat (12 cm) | $= 0.12 \times 2400$ | $= 288 \text{ kg/m}^2$ |
| Plafond dan penggantung | | $= 8 \text{ kg/m}^2$ |
| Spesi (1 cm) | | $= 16 \text{ kg/m}^2$ |
| Ubin (1 cm) | | $= 15 \text{ kg/m}^2$ |
| Plumbing | | $= 25 \text{ kg/m}^2$ |
| Instalasi listrik | | $= 40 \text{ kg/m}^2 +$ |
| | qDL | $= 392 \text{ kg/m}^2$ |
- ❖ Beban hidup

| | | |
|--------------------|-----|------------------------|
| Beban hidup lantai | | $= 240 \text{ kg/m}^2$ |
| | QLL | $= 240 \text{ kg/m}^2$ |
- ❖ Beban ultimate

| | | |
|---|--|--|
| U | $= 1.2 (\text{DL}) + 1.6 (\text{LL})$ | |
| | $= 1.2 (392 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (96 \text{ kg/m}^2)$ | |
| | $= 854.4 \text{ kg/m}^2$ | |

4.4.1.2 Perhitungan Penulangan Pelat

A. Perhitungan Penulangan Pelat Atap

1. Data Perencanaan:

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Tipe plat | $= A$ |
| Mutu beton (f_c') | $= 30 \text{ Mpa}$ |
| Mutu baja (f_y) | $= 400 \text{ Mpa}$ |
| Selimut beton | $= 20 \text{ mm}$ |
| Ø tulangan lentur | $= 10 \text{ mm}$ |
| Ø tulangan susut | $= 8 \text{ mm}$ |
| Bentang pelat sumbu panjang (L_y) | $= 400 \text{ cm}$ |
| Bentang pelat sumbu pendek (L_x) | $= 400 \text{ cm}$ |

 Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat:

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{400}{400} = 1 < 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

2. Momen Terjadi

Koefisien momen untuk pelat tipe A 400 x 400 adalah:

Nilai X untuk Lapangan x = 21

Nilai X untuk Lapangan y = 21

Nilai X untuk Tumpuan x = 52

Nilai X unttuk Tumpuan y = 52

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 682 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21 \\ &= 229.152 \text{ kgm} \end{aligned}$$

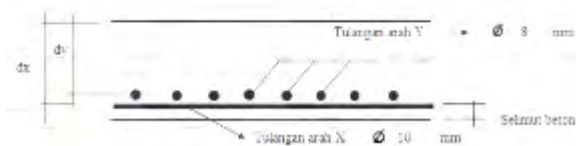
$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_y^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 682 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21 \\ &= 229.152 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 682 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52 \\ &= 567.424 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_y^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 682 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52 \\ &= 567.424 \text{ kgm} \end{aligned}$$

3. Tebal Manfaat Pelat

GAMBAR TULANGAN



$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - 1/2\emptyset \\ &= 12 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal plat} - \text{decking} - \emptyset - 1/2\emptyset \\ &= 12 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 10 \text{ mm}) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Tulangan Minimum Dan Maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.75 \times \rho_b}{F_y} = \frac{0.024}{400}$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

5. Perhitungan Tulangan

TULANGAN TUMPUAN ARAH X

$$M_{tx} = 567.424 \text{ kgm} = 5674240 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{5674240 \text{ Nmm}}{0.85} = 6675576.47 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{6675576.47 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 95^2} = 0.74$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.74}{400}} \right] = 0.0019$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.0019 < 0.024 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

$$\text{Maka } \rho \text{ diperbesar } 30\%, \rho = 0.0019 \times 1.3 = 0.0024$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 332.5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{332.5 \text{ mm}^2} = 151.1 \text{ mm}$$

$$S = 151.1 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 8 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$502 \text{ mm}^2 > 332.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\emptyset 8 - 100$

TULANGAN LAPANGAN ARAH X

$$M_{lx} = 229.152 \text{ kgm} = 2291520 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{2291520 \text{ Nmm}}{0.85} = 2695905.88 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{2695905.88 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 95^2} = 0.29$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.15.69 \cdot 0,29}{400}} \right] = 0.0008$$

Syarat :

$$\begin{array}{ll} \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 > 0.0008 < 0.024 \text{ (Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0008 \times 1.3 = 0.00098$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 332.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{332.5 \text{ mm}^2} = 151.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 151.1 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 8 - 100$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S \text{ pakai}} \\ A_s \text{ pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$502 \text{ mm}^2 > 332.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\varnothing 8 - 100$

TULANGAN TUMPUAN ARAH Y

$$M_{ty} = 567.424 \text{ kgm} = 5674240 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\varphi} = \frac{5674240 \text{ Nmm}}{0.85} = 6675576.47 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{6675576.47 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 85^2} = 0.92$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.92}{400}} \right] = 0.0024$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.0024 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0024 \times 1.3 = 0.00305$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$$

$$= 260.04 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\varnothing = 8 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{260.04 \text{ mm}^2} = 193.2 \text{ mm}$$

$$S = 193.2 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka S pakai = 100 mm
 Tulangan yang dipakai $\phi 8 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$502 \text{ mm}^2 > 260.04 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\phi 8 - 100$

TULANGAN LAPANGAN ARAH Y

$$M_{ly} = 229.152 \text{ kgm} = 2291520 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\phi} = \frac{2291520 \text{ Nmm}}{0.85} = 2695905,88 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{2695905,88 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 85^2} = 0.37$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.15.69 \cdot 0,37}{400}} \right] = 0.00094$$

Syarat :

$$\begin{array}{lcl} \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 > 0.00094 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0009 \times 1.3 = 0.0012$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 297.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{297.5 \text{ mm}^2} = 168.87 \text{ mm} \\ S = 168.87 \text{ mm} &> 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka S pakai = 100 mm

Tulangan yang dipakai $\emptyset 8 - 100$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ A_s \text{ pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$502 \text{ mm}^2 > 297.5 \text{ mm}^2 \quad \text{(Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\varnothing 8 - 100$

TULANGAN SUSUT ARAH X & Y

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1** : untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0.0018

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\varnothing 8$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi x \varnothing^2 x b}{\text{As}}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi x 8 \text{ mm}^2 x 1000}{216 \text{ mm}^2} = 232.71 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S = 232.71 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

Maka dicoba $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\varnothing 8-200$

$$\text{As} = \frac{\frac{1}{4} \pi x \varnothing^2 x b}{S \text{ pakai}}$$

$$\text{As pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi x 8 \text{ mm}^2 x 1000}{200 \text{ mm}} = 251 \text{ mm}^2$$

Syarat:

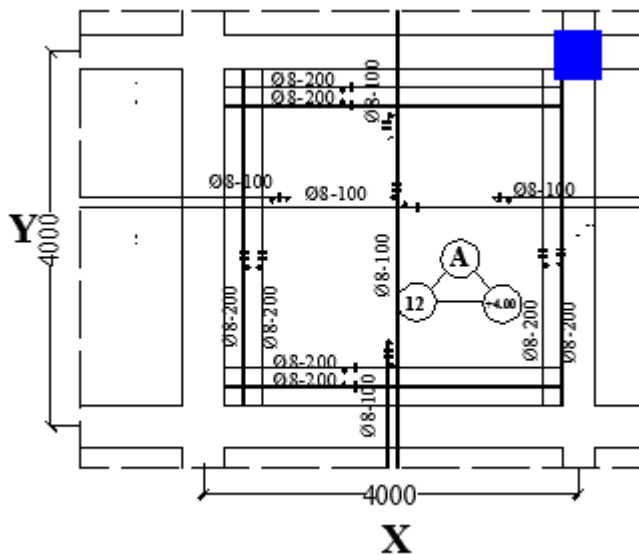
$$\text{As pakai} > \text{As perlu}$$

$$251 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \quad \text{(Memenuhi)}$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang Lx maupun Ly.

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar: $0,25 L_n$, yaitu:

- Ke arah bentang panjang = $0,25 \times (400 - (2 \times (45+35))) = 90 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek = $0,25 \times (400 - (2 \times (45+35))) = 90 \text{ cm}$



Gambar 4. 16 Tulangan Pelat Atap

B. Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

1. Data Perencanaan:

| | |
|---|-----------|
| Tipe plat | = B |
| Mutu beton (f_c') | = 30 Mpa |
| Mutu baja (f_y) | = 400 Mpa |
| Selimut beton | = 20 mm |
| Ø tulangan lentur | = 10 mm |
| Ø tulangan susut | = 8 mm |
| Bentang pelat sumbu panjang (L_y) | = 400 cm |
| Bentang pelat sumbu pendek (L_x) | = 400 cm |
| Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat: | |

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{400}{400} = 1 < 2 \quad \text{(Two Way Slab)}$$

2. Momen Terjadi

Koefisien momen untuk pelat tipe B 400 x 400 adalah:

Nilai X untuk Lapangan x = 21

Nilai X untuk Lapangan y = 21

Nilai X untuk Tumpuan x = 52

Nilai X untuk Tumpuan y = 52

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 854,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21 \\ &= 287,0784 \text{ kgm} \end{aligned}$$

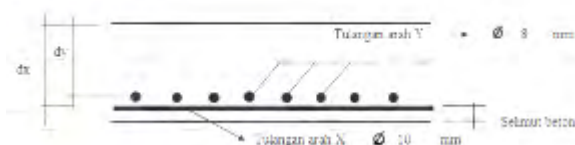
$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 854,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21 \\ &= 287,0784 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 854,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52 \\ &= 710,8608 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 854,4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52 \\ &= 710,8608 \text{ kgm} \end{aligned}$$

3. Tebal Manfaat Pelat

GAMBAR TULANGAN



$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - 1/2\varnothing \\
 &= 12 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 95 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal plat} - \text{decking} - \varnothing - 1/2\varnothing \\
 &= 12 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 10 \text{ mm}) \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Tulangan Minimum Dan Maksimum

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035 \\
 \rho_b &= \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033 \\
 \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_b = 0.024 \\
 m &= \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Tulangan

TULANGAN TUMPUAN ARAH X

$$M_{tx} = 710.8608 \text{ kgm} = 7108608 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{7108608 \text{ Nmm}}{0.85} = 8363068.24 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{8363068.24 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 95^2} = 0.93
 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.15.69.0,93}{400}} \right] = 0.0024$$

Syarat :

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 > 0.0024 < 0.024 & \text{(Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0024 \times 1.3 = 0.0031$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 332.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{332.5 \text{ mm}^2} = 151.1 \text{ mm}$$

$$S = 151.1 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

Maka S pakai = 100 mm

Tulangan yang dipakai $\emptyset 8 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$502 \text{ mm}^2 > 332.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\varnothing 8 - 100$

TULANGAN LAPANGAN ARAH X

$$M_{lx} = 287.0784 \text{ kgm} = 2870784 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{2870784 \text{ Nmm}}{0.85} = 3377392.94 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{3377392.94 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 95^2} = 0.37$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.37}{400}} \right] = 0.00094$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.00094 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0009 \times 1.3 = 0.0012$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x$$

$$= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 332.5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\varnothing = 8 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{332.5 \text{ mm}^2} = 151.1 \text{ mm}$$

$$S = 151.1 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka S pakai = 100 mm
 Tulangan yang dipakai $\phi 8 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$502 \text{ mm}^2 > 332.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\phi 8 - 100$

TULANGAN TUMPUAN ARAH Y

$$M_{ty} = 710.8608 \text{ kgm} = 7108608 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\phi} = \frac{7108608 \text{ Nmm}}{0.85} = 8363068.24 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{8363068.24 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 85^2} = 1.16$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 1.16}{400}} \right] = 0.003$$

Syarat :

$$\begin{array}{ll} \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 > 0.003 < 0.024 \text{ (Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.003 \times 1.3 = 0.0039$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0039 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 327.37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{327.37 \text{ mm}^2} = 153.46 \text{ mm}$$

$$S = 153.46 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka S pakai = 100 mm

Tulangan yang dipakai $\emptyset 8 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

As pakai > As perlu

$502 \text{ mm}^2 > 327.37 \text{ mm}^2$ **(Memenuhi)**

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\emptyset 8 - 100$

TULANGAN LAPANGAN ARAH Y

$$M_{ly} = 287.0784 \text{ kgm} = 2870784 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\phi} = \frac{2870784 \text{ Nmm}}{0.85} = 3377392.94 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{3377392.94 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 85^2} = 0.47$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.47}{400}} \right] = 0.0012$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0.0035 > 0.0012 < 0.024$ **(Tidak Memenuhi)**

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0012 \times 1.3 = 0.0015$

$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x$

$$= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$$

$$= 297.5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{297.5 \text{ mm}^2} = 168.87 \text{ mm}$$

$$S = 168.87 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka S pakai = 100 mm

Tulangan yang dipakai $\emptyset 8 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 502.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$502 \text{ mm}^2 > 297.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan 1 lapis $\emptyset 8 - 100$

TULANGAN SUSUT ARAH X & Y

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1** : untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0.0018

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= \rho \text{ susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} \leq 5h$ atau $S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$

$$S_{maks} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 8$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{216 \text{ mm}^2} = 232.71 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S = 232.71 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

Maka dicoba $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\phi 8-200$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 8 \text{ mm}^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 251 \text{ mm}^2$$

Syarat:

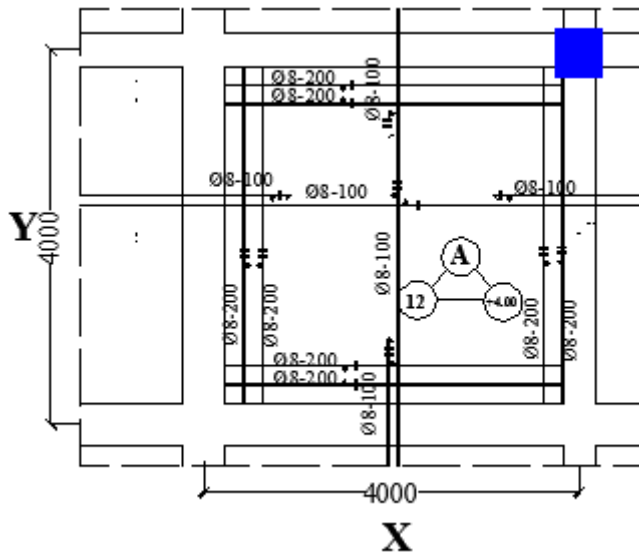
$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$251 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang L_x maupun L_y .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar: $0,25 L_n$, yaitu:

- Ke arah bentang panjang = $0.25 \times (400 - (2 \times (45+35))) = 90 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek = $0.25 \times (400 - (2 \times (45+35))) = 90 \text{ cm}$



Gambar 4. 17 Tulangan Pelat Atap

4.4.2 Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakannya.

Dalam perencanaan ini tangga dimodelkan sebagai frame 3 dimensi, yang kemudian dianalisa dengan program SAP untuk mendapatkan gaya-gaya dalamnya.

4.4.2.1 Perhitungan Penulangan Tangga

A. Tipe Tangga 1 (Tangga Utama)

❖ Data Perencanaan

| | |
|-----------------------|-----------|
| Mutu beton (f_c') | : 30 Mpa |
| Mutu baja (f_y) | : 400 Mpa |
| Tebal pelat | : 150 mm |
| Decking (t) | : 20 mm |
| β_1 | : 0.85 |

Ø tul lentur : 12 mm
 Ø tul susut : 8 mm
 b : 1000 mm
 ρ susut : 0.0018
(SNI 2847-2013 pasal 7.12)

❖ Nilai momen-momen yang diambil dari output SAP kombinasi (12D + 1.6L):

1. Momen M11 tangga : 10274900 Nmm
2. Momen M22 tangga : 11536600 Nmm
3. Momen M11 bordes : 4419800 Nmm
4. Momen M22 bordes : 10288300 Nmm

Karena pelat memiliki dua arah tulangan utama yang berbeda (tulangan arah Ly dan tulangan arah Lx) maka tebal efektif dari pelat adalah:

$$dx = \text{tebal pelat} - \text{decking} - (1/2 \text{ Ø}_{\text{tulangan}})$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (1/2 \cdot 12 \text{ mm}) = 124 \text{ mm}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \text{Ø}_{\text{tulangan}} - (1/2 \text{ Ø}_{\text{tulangan}})$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (1/2 \cdot 12 \text{ mm})$$

$$= 112 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.024$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

❖ Penulangan Tangga

TULANGAN TANGGA ARAH X

M11 = 10274900 Nmm

$$M_n = \frac{M_{11}}{\phi} = \frac{10274900 \text{ Nmm}}{0.8} = 12843625 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{12843625 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 124^2} = 0.84$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.84}{400}} \right] = 0.002$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.0021 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0021 \times 1.3 = 0.0028$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 124 \text{ mm} \\ &= 434 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{434 \text{ mm}^2} = 260.59 \text{ mm}$$

$$S = 260.59 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{s_{pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 565.20 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$565.20 \text{ mm}^2 > 434 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

TULANGAN TANGGA ARAH Y

$$M_{22} = 11536600 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{22}}{\phi} = \frac{11536600 \text{ Nmm}}{0.8} = 14420750 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{14420750 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 112^2} = 1.15$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 1.15}{400}} \right] = 0.0029$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.0029 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0029 \times 1.3 = 0.0038$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_y$$

$$= 0.0038 \times 1000 \text{ mm} \times 112 \text{ mm}$$

$$= 428.34 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{428.34 \text{ mm}^2} = 264.04 \text{ mm}$$

$$S = 264.04 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 565.20 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$565.20 \text{ mm}^2 > 428.34 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

TULANGAN SUSUT TANGGA ARAH X & Y

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1** : untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0.0018

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} \leq 5h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 5 \times 120 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{270 \text{ mm}^2} = 180.88 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S = 180.88 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dicoba $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\phi 10-200$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 392.50 \text{ mm}^2$$

Syarat:

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$392.5 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

❖ Penulangan Bordes

TULANGAN BODES ARAH X

$$M_{11} = 10288300 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{11}}{\phi} = \frac{10288300 \text{ Nmm}}{0.8} = 12860375 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{12860375 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 124^2} = 0.84$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.84}{400}} \right] = 0.0021$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.0021 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0021 \times 1.3 = 0.0027$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 124 \text{ mm} \\ &= 434 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 2h$

$$S_{\text{maks}} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{434 \text{ mm}^2} = 260.59 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 260.59 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ A_s_{\text{pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 565.20 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_s_{\text{pakai}} > A_s_{\text{perlu}}$$

$$565.20 \text{ mm}^2 > 434 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

TULANGAN BORDES ARAH Y

$$M_{22} = 4419800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{22}}{\phi} = \frac{4419800 \text{ Nmm}}{0.8} = 5524750 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{5524750 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 112^2} = 0.44$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 0.44}{400}} \right] = 0.0011$$

Syarat :

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 > 0.0011 < 0.024 & \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{array}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3)** sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0011 \times 1.3 = 0.0014$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_y \\ &= 0.0035 \times 1000 \text{ mm} \times 112 \text{ mm} \\ &= 392 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{392 \text{ mm}^2} = 288.51 \text{ mm}$$

$$S = 288.51 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 200$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 565.20 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$565.20 \text{ mm}^2 > 392 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

TULANGAN SUSUT BORDES ARAH X & Y

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1** : untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0.0018

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 5 \times 120 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{270 \text{ mm}^2} = 180.88 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S = 180.88 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Maka dicoba $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\emptyset 10-200$

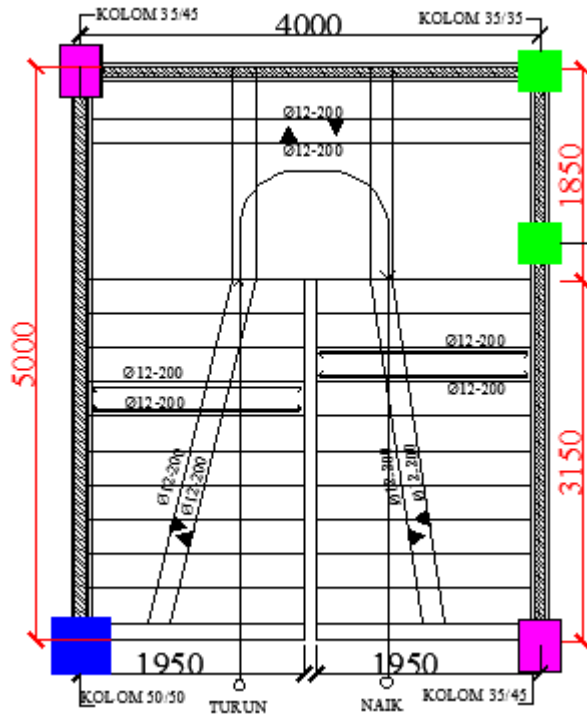
$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$\text{As pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 392.50 \text{ mm}^2$$

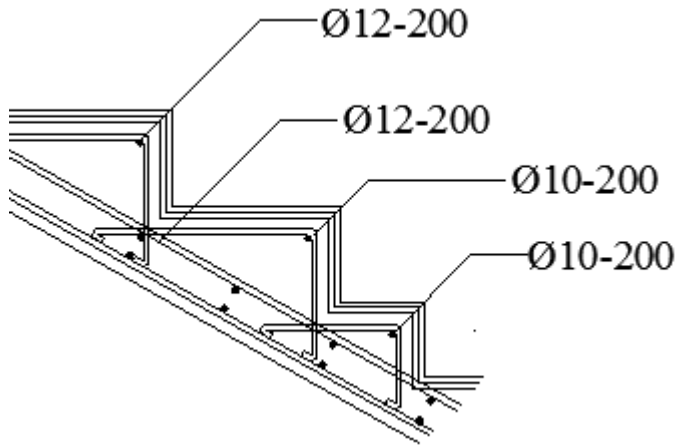
Syarat:

As pakai > As perlu

$392.5 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$ **(Memenuhi)**



Gambar 4. 18 Denah Penulangan Tangga Utama



Gambar 4. 19 Potongan Tangga Utama

B. Tipe Tangga 2 (Tangga Darurat)

❖ Data Perencanaan

| | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Mutu beton (f_c') | : 30 Mpa |
| Mutu baja (f_y) | : 400 Mpa |
| Tebal pelat | : 150 mm |
| Decking (t) | : 20 mm |
| β_1 | : 0.85 |
| Ø tul lentur | : 12 mm |
| Ø tul susut | : 8 mm |
| b | : 1000 mm |
| ρ susut | : 0.0018 (SNI 2847-2013 pasal 7.12) |

❖ Nilai momen-momen yang diambil dari output SAP kombinasi (1.2D + 1.6L):

| | |
|---------------------|----------------|
| 5. Momen M11 tangga | : 16214000 Nmm |
| 6. Momen M22 tangga | : 18298700 Nmm |
| 7. Momen M11 bordes | : 15814500 Nmm |
| 8. Momen M22 bordes | : 28672300 Nmm |

Karena pelat memiliki dua arah tulangan utama yang berbeda (tulangan arah Ly dan tulangan arah Lx) maka tebal efektif dari pelat adalah:

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - (1/2 \varnothing_{\text{tulangan}}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (1/2 \cdot 12 \text{ mm}) = 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \varnothing_{\text{tulangan}} - (1/2 \varnothing_{\text{tulangan}}) \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (1/2 \cdot 12 \text{ mm}) \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.024$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

❖ Penulangan Tangga

TULANGAN TANGGA ARAH X

$$M_{11} = 16214000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{11}}{\phi} = \frac{16214000 \text{ Nmm}}{0.8} = 20267500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{20267500 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 124^2} = 1.32$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 1.32}{400}} \right] = 0.0034$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0.0035 &> 0.0034 < 0.024 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)} \end{aligned}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 10.5 (3) sebagai alternative, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan.

Maka ρ diperbesar 30% , $\rho = 0.0034 \times 1.3 = 0.0044$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0044 \times 1000 \text{ mm} \times 124 \text{ mm} \\ &= 545.69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{545.69 \text{ mm}^2} = 207.26 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 207.26 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 150$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ A_s \text{ pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{150 \text{ mm}} = 753.6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &> A_s \text{ perlu} \\ 753.6 \text{ mm}^2 &> 545.69 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

TULANGAN TANGGA ARAH Y

$$M_{22} = 18298700 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{22}}{\varphi} = \frac{18298700 \text{ Nmm}}{0.8} = 22873375 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_Y^2} = \frac{22873375 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 112^2} = 1.82$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 1.82}{400}} \right] = 0.0047$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 < 0.0047 < 0.024 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d_y \\ &= 0.0047 \times 1000 \text{ mm} \times 112 \text{ mm} \\ &= 530.26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{530.26 \text{ mm}^2} = 213.29 \text{ mm}$$

$$S = 213.29 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 150$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{150 \text{ mm}} = 753.6 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$753.6 \text{ mm}^2 > 530.26 \text{ mm}^2$ **(Memenuhi)**

TULANGAN SUSUT TANGGA ARAH X & Y

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1 : untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 0.0018

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{\text{maks}} \leq 5h$ atau $S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$

$S_{\text{maks}} = 5 \times 120 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{270 \text{ mm}^2} = 180.88 \text{ mm}$$

Syarat :

$S = 180.88 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$

Maka dicoba $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\emptyset 10-200$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$As \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 392.50 \text{ mm}^2$$

Syarat:

As pakai > As perlu

$392.5 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$ **(Memenuhi)**

❖ Penulangan Bordes

TULANGAN BODES ARAH X

M11 = 15814500 Nmm

$$M_n = \frac{M11}{\phi} = \frac{15814500 \text{ Nmm}}{0.8} = 19768125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{19768125 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 124^2} = 1.58$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 1.58}{400}} \right] = 0.0041$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0.0035 < 0.0041 < 0.024$ **(Memenuhi)**

As = $\rho \cdot b \cdot d_x$

= $0.0041 \times 1000 \text{ mm} \times 124 \text{ mm}$

= 455.8 mm^2

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{455.80 \text{ mm}^2} = 248.13 \text{ mm}$$

$S = 248.13 \text{ mm} > 240 \text{ mm}$ **(Tidak Memenuhi)**

Maka S pakai = 150 mm

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12 - 150$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 565.20 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$565.20 \text{ mm}^2 > 455.80 \text{ mm}^2$ **(Memenuhi)**

TULANGAN BORDES ARAH Y

$$M_{22} = 28672300 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{22}}{\phi} = \frac{28672300 \text{ Nmm}}{0.8} = 35840375 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_Y^2} = \frac{35840375 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 112^2} = 2.33$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 2.33}{400}} \right] = 0.0061$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0.0035 > 0.0061 < 0.024 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_y$$

$$= 0.0061 \times 1000 \text{ mm} \times 112 \text{ mm}$$

$$= 759.03 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan $\phi = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \times (12 \text{ mm})^2 \times 1000}{759.03 \text{ mm}^2} = 149 \text{ mm}$$

$$S = 149 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\phi 12 - 100$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \pi \times \phi^2 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times 12 \text{ mm}^2 \times 1000}{100 \text{ mm}} = 1130.4 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$1130.4 \text{ mm}^2 > 759.03 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

TULANGAN SUSUT BORDES ARAH X & Y

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1 : untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0.0018

$$A_s \text{ susut} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$$

$$= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}$$

$$= 270 \text{ mm}^2$$

Syarat:

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 5 \times 120 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{270 \text{ mm}^2} = 180.88 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S = 180.88 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

Maka dicoba $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$ -200

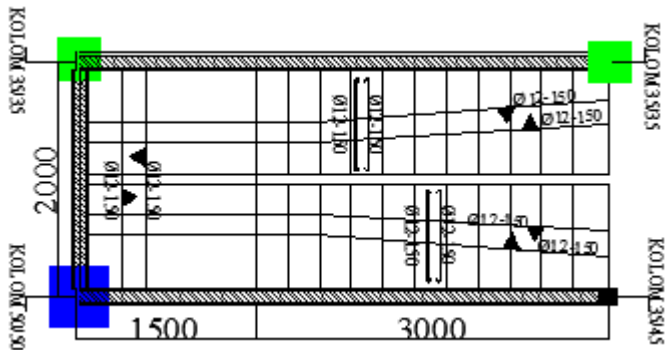
$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} = 392.50 \text{ mm}^2$$

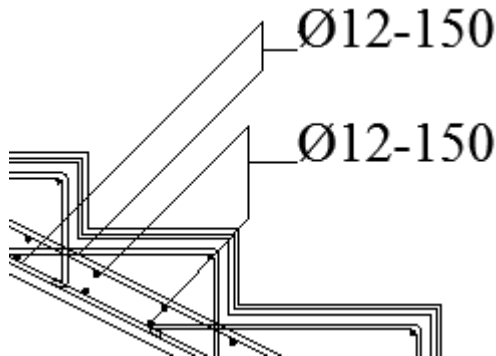
Syarat:

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$392.5 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$



Gambar 4. 20 Denah Penulangan Tangga Darurat



Gambar 4. 21 Potongan Tangga Darurat

4.5 Perhitungan Balok

4.5.1 Perhitungan Balok Induk

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok induk B1 (45/65) As D (1-1') elevasi ± 4.00 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

Data-data perencanaan tulangan balok:

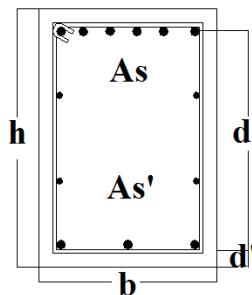
| | |
|--|--------------|
| Tipe balok | : BI 450/650 |
| Bentang balok | : 8500 mm |
| Dimensi balok (b balok) | : 450 mm |
| Dimensi balok (h balok) | : 650 mm |
| Bentang kolom (L kolom) | : 4000 mm |
| Dimensi kolom (h kolom) | : 500 mm |
| Dimensi kolom (b kolom) | : 500 mm |
| Kuat tekan beton (f_c') | : 30 Mpa |
| Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | : 400 Mpa |
| Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) | : 240 Mpa |
| Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | : 400 Mpa |
| Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) | : 22 mm |

| | |
|--|---------|
| Diameter tulangan geser (\emptyset geser) | : 12 mm |
| Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) | : 16 mm |
| Cot θ^2 | : 1 |
| Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | |
| Jarak spasi tulangan antar lapis | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2) | |
| Tebal selimut beton (t decking) | : 40 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1) | |
| Faktor β_1 | : 0.85 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.7.3) | |
| Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) | : 0.9 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1) | |
| Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) | : 0.75 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3) | |
| Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) | : 0.75 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3) | |

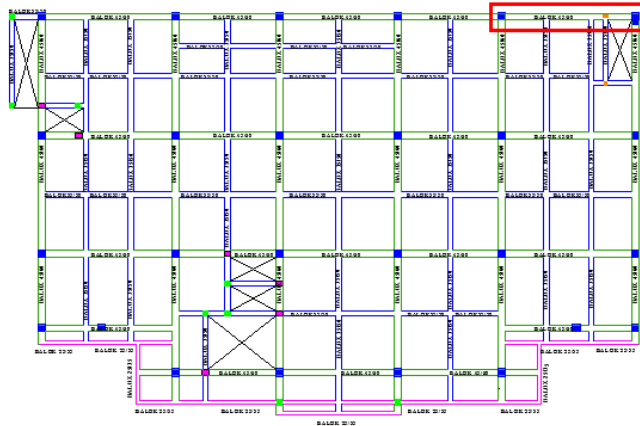
Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - 1/2 \emptyset \text{tul.lentur} \\ &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - 1/2.22 \text{ mm} \\ &= 587 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{sengkang} + 1/2 \emptyset \text{tul.lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + 1/2.22 \text{ mm} \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 22 Tinggi Efektif Balok



Gambar 4. 23 Denah Balok yang Ditinjau

b. Hasil Output dan Diagram Gaya dalam dari Analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

Kombinasi Beban Non Gempa :

- Pembebanan akibat beban mati
= 1,4 DL
- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.
= 1,2 DL + 1,6 LL
- Pembebanan akibat beban mati, beban hidup dan beban angin.
= 1,2 DL + 1,6 LL + 0,8 W
- Pembebanan akibat beban mati dan beban angin.

$$= 0,9 \text{ DL} + 1,0 \text{ W}$$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.

$$= 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$$

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y

$$= 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,3 \text{ EQX} + 1,0 \text{ EQY}$$

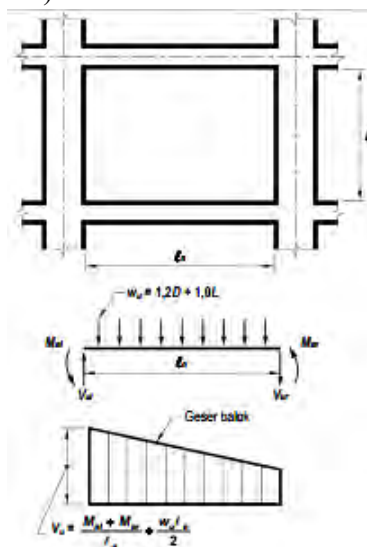
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.

$$= 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,0 \text{ EQX} - 0,3 \text{ EQY}$$

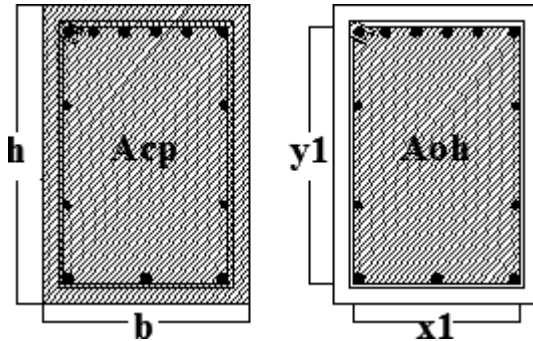
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y

$$= 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 0,3 \text{ EQX} - 1,0 \text{ EQY}$$

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3** mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar 4. 24 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 450 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} \\ &= 292500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Pcp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (450 \text{ mm} + 650 \text{ mm}) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang Aoh

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \\ &= (450 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \times (650 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \\ &= 199764 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

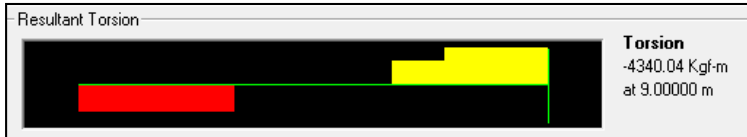
Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}})) \\ &= 2 \times ((450 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) + (650 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm})) \\ &= 1832 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.5.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari SAP 2000, diperoleh momen puntir :

Akibat kombinasi 1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey



Momen puntir ultimate :

$$T_u = 4340.04 \text{ Kgm} = 43400400 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{43400400 \text{ Nmm}}{0.75} = 57867200 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

Akibat kombinasi 1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey

$$V_u = 191793.7 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$T_{u \min} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1(a)

$$T_{u \min} = \phi 0.083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{292500^2}{2200} \right)$$

$$= 13259557.87 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_{u \max} = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 (a)

$$\begin{aligned}
 T_u \max &= 0.33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{292500^2}{2200} \right) \\
 &= 52718724.07 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{umin} > T_u$ → tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u$ → memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u$

$13259557.87 \text{ Nmm} < 43400400 \text{ Nmm} \rightarrow$ **(Memerlukan tulangan puntir)**

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right) \\
 \sqrt{\left(\frac{191793.7}{450 \times 587} \right)^2 + \left(\frac{43400400 \times 1832}{1,7 \times 199764^2} \right)^2} \\
 &\leq 0.75 \left(\frac{0.17 \times \sqrt{30} \times 450 \times 587}{450 \times 587} + 0,66 \sqrt{30} \right)
 \end{aligned}$$

$0.726 < 3,41$ **(Memenuhi)**

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} \cdot Ph \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang = 45°

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 199764 \text{ mm}^2 \\ &= 169799.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \cot \emptyset}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{57867200 \text{ Nmm}}{2 \times 169799.4 \times 240 \times \cot 45^\circ} \\ &= 0.7099 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ perlu} &= 0.7099 \times 1832 \times \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 780.4261 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \frac{F_{yt}}{F_{yt}}$$

$$\begin{aligned}
 A_{l \min} &= \frac{0,42\sqrt{30} \times 292500}{400} \\
 &\quad - (0.7099) \times 1832 \times \frac{240}{400} \\
 &= 888.42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_{\text{perlu}} \leq A_{\text{min}}$ maka gunakan A_{min}

$A_{\text{perlu}} \geq A_{\text{min}}$ maka gunakan A_{perlu}

$$780.4261 \text{ mm}^2 \leq 888.42 \text{ mm}^2$$

(Maka menggunakan A_{min})

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar 888.42 mm^2

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{888.42}{4} = 222.10401 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 222.10401 mm^2

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 222.10401 = 444.20802 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan puntir}} \\
 &\quad \frac{444.20802 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2}
 \end{aligned}$$

$$= 2,21 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D16

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

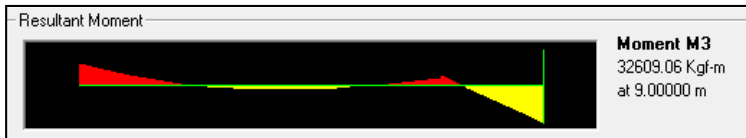
$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{luasan tulangan puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi (16 \text{ mm})^2 \\ &= 803.84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 803.84 \text{ mm}^2 &\geq 444.20802 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

4.5.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KANAN



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi

$$\mathbf{1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey}$$

Mu tumpuan : 326090600 Nmm

Momen lentur nominal (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\ M_n &= \frac{326090600 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 362322888.88 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 587$$

$$X_b = 352.2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \cdot X_b \\ &= 0,75 \times 352.2 \text{ mm} \\ &= 264.15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$\begin{aligned} X_{\text{rencana}} &= 0.5 \times X_b \\ &= 0.5 \times 352.2 \text{ mm} \\ &= 176.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 450 \times 0,85 \times 176.1 \\ &= 1717635.4 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c'}{F_y} \\ A_{sc} &= \frac{171717635.4 \text{ N}}{400} \\ A_{sc} &= 4294.09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 4294.09 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(587 \text{ mm} - \frac{0.85 \times 176.1 \text{ mm}}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 879699839.571 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 3260900600 \text{ Nmm} - 885704599.206 \text{ Nmm} \\ &= -517376950.7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$$M_{ns} = -517376950.7 \text{ Nmm} \leq 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{\mu_{\text{tumpuan}}}{\phi} = \frac{3260900600 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 362322888.88 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{362322888.88}{450 \times 587^2}$$

$$= 2.3367$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 2.32088}{400}} \right]$$

$$= 0.00613$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0.00613 < 0.02438 \text{ (Memenuhi)}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.00613 \times 450 \times 587$$

$$= 1621.146 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 1621.146 \text{ mm}^2 + \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{4} \\ \text{As perlu} &= 1843.25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\ n &= \frac{1843.25 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \\ n &= 4.851 \approx 5 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 5 D22

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1899.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1899.7 \text{ mm}^2 &> 1843.25 \text{ mm}^2 \quad \quad \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut **SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ \text{As perlu} &= 0.3 \times 0 + \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{4} \\ \text{As perlu} &= 222.10401 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2}$$

$$= 0.7899 \text{ buah} \approx 2$$

Dipasang tulangan lentur 2 D22

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$759.88 \text{ mm}^2 > 222.10401 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$= 59 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S$ syarat agregat

$$59 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 302 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S$ syarat agregat

$302 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Maka dipakai tulangan lentur balok Induk 450/650 untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5 D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D22

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3 \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1899.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1899.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$759.88 \text{ mm}^2 \geq 633.23 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 5 D22

Tulangan tekan = 2 D22

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{(A_s - A_s') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1899.7 - 759.88) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 39.732 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$C_c' = 0.85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 39.732 \text{ mm}$$

$$= 455928 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' \text{ pasang} \times f_y$$

$$= 759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 303952 \text{ N}$$

$$M_n \text{ pasang} = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d')$$

$$= 455928 \times \left(587 - \frac{39.732}{2} \right) + 303952 \times (587 - 63)$$

$$= 417843052.8 \text{ Nmm}$$

Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$417843052.8 \text{ Nmm} > 362322888.88 \text{ Nmm} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (45/65) As D (1-1') elevasi ± 4.00 . pada daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 5 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis

Lapis 1 : 5 D22

- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D22

DAERAH TUMPUAN KIRI



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi
1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey
Mu tumpuan : 194002300 Nmm

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{194002300 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 215558111.111 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 587$$

$$X_b = 352.2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\text{max}} = 0,75 \cdot X_b$$

$$= 0,75 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 264.15 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$\begin{aligned}
 X_{\text{rencana}} &= 0.5 \times X_b \\
 &= 0.5 \times 352.2 \text{ mm} \\
 &= 176.1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0.85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0.85 \times 30 \times 450 \times 0.85 \times 176.1 \\
 &= 1717635.375 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 A_{sc} &= \frac{171717635.375 \text{ N}}{400} \\
 A_{sc} &= 4294.09 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 &= 4294.09 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(587 \text{ mm} - \frac{0.9 \times 176.1 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 879699839.571 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{ns} > 0 &\rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan} \\
 M_{ns} \leq 0 &\rightarrow \text{maka tidak perlu tulangan lentur tekan} \\
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 215558111.111 \text{ Nmm} - 879699839.571 \text{ Nmm} \\
 &= -664141728.460 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -664141728.460 \text{ Nmm} \leq 0$ (**Tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} = \frac{194002300 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 215558111.111 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{215558111.111 \text{ Nmm}}{450 \times 587^2}$$

$$= 1.39$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 1.39}{400}} \right]$$

$$= 0.0035757$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0.0035757 < 0.02438$$

(Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0035757 \times 450 \times 587 \\ &= 1139.82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_{s \text{ perlu}} &= 1139.82 \text{ mm}^2 + \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{4} \\ A_{s \text{ perlu}} &= 1166.643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}} \\ n &= \frac{1166.643 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$n = 3.838 \text{ buah} \approx 5$$

Dipasang tulangan lentur 5 D22 (mengikuti As terbesar tumpuan kanan)

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1166.643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$1899.7 \text{ mm}^2 > 1166.643 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI **03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\text{As perlu} = 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4}$$

$$\text{As perlu} = 0.3 \times 0 + \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{4}$$

$$\text{As perlu} = 222.10401 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ n &= \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \\ &= 0.5845 \text{ buah} \approx 2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D22

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$759.88 \text{ mm}^2 > 222.10401 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$= 59 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$59 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 302 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$302 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok Induk 450/650 untuk daerah tumpuan:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

- Lapis 1 = 5 D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
- Lapis 1 = 2 D22

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1899.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \text{ mm} \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1899.7 \text{ mm}^2 \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 633.233 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 5 D22

Tulangan tekan = 2 D22

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{(As - As') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1899.7 - 759.88) \cdot 400}{0.85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 39.732 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} Cc' &= 0.85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 39.732 \text{ mm} \\ &= 455928 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \text{ pasang} \times f_y \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 303952 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs' \times (d - d') \\ &= 455928 \times \left(587 - \frac{39.732}{2} \right) + 303952 \times (587 - 63) \\ &= 417843052.8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

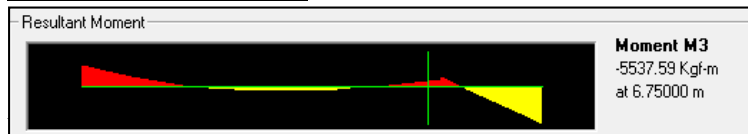
Maka: $Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$417843052.8 \text{ Nmm} > 215558111.111 \text{ Nmm}$ (**Memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (45/65) As D (1-1') elevasi ± 4.00 . pada daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 5D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 5 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D22

DAERAH LAPANGAN



1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey

Mu tumpuan : 55375900 Nmm

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{55375900 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 61528777.78 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 587$$

$$X_b = 352.2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\text{max}} = 0,75 \cdot X_b$$

$$= 0,75 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 264.15 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 0.5 \times X_b$$

$$= 0.5 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 176.1 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 450 \times 0,85 \times 176.1$$

$$= 1717635.375 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$Asc = \frac{171717635.375 \text{ N}}{400}$$

$$Asc = 4294.09 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 4294.09 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(587 \text{ mm} - \frac{0.9 \times 176.1 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 879699839.571 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 61528777.78 \text{ Nmm} - 885704599.206 \text{ Nmm} \\ &= -818171061.8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $Mns \leq 0$

$$Mns = -818171061.8 \text{ Nmm} \leq 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{M_u \text{ lapangan}}{\phi} = \frac{55375900 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 61528777.78 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{61528777.78 \text{ Nmm}}{,450 \times 587^2}$$

$$= 0.39$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 1.39}{400}} \right]$$

$$= 0.000999$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0.000999 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Diperbesar } 30\% = 1.3 \times 0.000999 = 0.00129$$

$$0,0035 > 0.00129 < 0.02438 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka menggunakan $\rho_{\min} = 0.0035$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0035 \times 450 \times 587 \\ &= 924.525 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_{s \text{ perlu}} &= 924.525 \text{ mm}^2 + \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{4} \\ A_{s \text{ perlu}} &= 1146.629 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} \\ n &= \frac{1146.629 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$n = 3.77 \text{ buah} \approx 4$$

Dipasang tulangan lentur 4 D22

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1519.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &> A_{s \text{ perlu}} \\ 1519.8 \text{ mm}^2 &> 1146.629 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(Memenuhi)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut **SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$As \text{ perlu} = 0.3 \times As + \frac{Al}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 0.3 \times 0 + \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 222.10401 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{222.10401 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2}$$

$$= 0.5845 \text{ buah} \approx 2$$

Dipasang tulangan lentur 2 D22

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 759.88 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$$

$$759.88 \text{ mm}^2 > 222.10401 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 59.33 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$59.33 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 302 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$302 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Maka dipakai tulangan lentur balok Induk 450/650 untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 4 D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D22

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung

komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3 \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1519,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 759,88 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1519,8 \text{ mm}^2 \\ 759,88 \text{ mm}^2 &\geq 506,5867 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 4 D22

Tulangan tekan = 2 D22

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{\text{As} \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1519,8 - 759,88) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 26,49 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 26,49 \text{ mm} \\ &= 303952 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= \text{As' pasang} \times f_y \\ &= 759,88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 303952 \text{ N} \\
 \text{Mn pasang} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + Cs' \times (d - d') \\
 &= 303952 \times \left(587 - \frac{26.49}{2}\right) + 303952 \times (587 - 63) \\
 &= 417843052.8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka: Mn pasang > Mn perlu
 333665102.6 Nmm > 61528777.777 Nmm **(Memenuhi)**

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (45/65) As D (1-1') elevasi \pm 4.00. pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
 Lapis 1 : 4 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis
 Lapis 1 : 2 D22

4.5.1.3 Perhitungan Penulangan Geser

DAERAH TUMPUAN

Momen Nominal Kanan :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As tulangan tarik} = 1899.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan tekan} = 759.88 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{\left(1899.7 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$a = 66.22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1899.7 \text{ mm}^2 \times 400 \times \left(587 - \frac{66.22}{2}\right) \\
 &= 420889751.1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Kiri :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$A_s \text{ tulangan tarik} = 1899.7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tulangan tekan} = 759.88 \text{ mm}^2$$

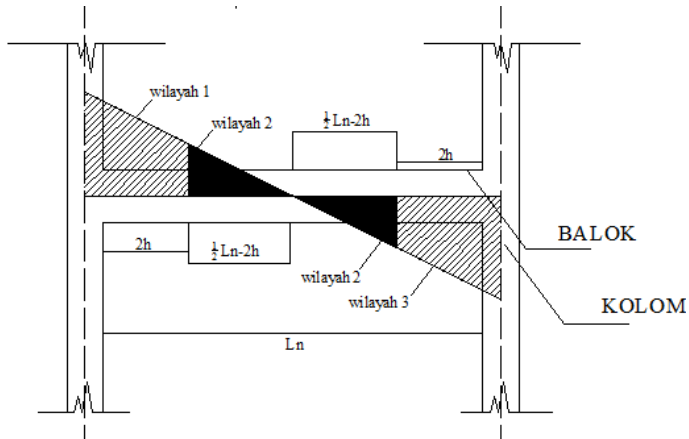
$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{\left(759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm}} \\
 a &= 26.49 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \times \left(587 - \frac{26.49}{2}\right) \\
 &= 174394254.6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Pembagian Geser Balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 tumpuan sampai ke tengah bentang balok.



Pada wilayah 1 dan 3 (Daerah tumpuan)

Berdasarkan hasil output diagram gaya geser akibat kombinasi $1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey$ dari analisa SAP 2000, didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 191793700 \text{ Nmm}$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.21.3

$$V_{u1} = \frac{420889751.1 + 174394254.6}{8500 \text{ mm}} + 191793700 \text{ N} \\ = 261827.1124 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f'c} < 8.3$$

$$\sqrt{30} < 8.3$$

$$5.477225575 < 8.3$$

(Memenuhi)

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30} \times 450 \times 587$$

$$= 245957.55 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm}$$

$$= 87169.5 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \sqrt{f'c} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm}$$

$$= 477447.01 \text{ N}$$

$$2V_{s \text{ max}} = 0.66 \sqrt{f'c} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9}$$

$$2V_{s \text{ max}} = 0.66 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm}$$

$$= 954894.03 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

$$261827.1124 \text{ N} > 92234.08 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 $0.5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$92234.08 \text{ N} < 261827.1124 \text{ N} > 184468.16 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 $\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_s \text{ min})$ (Tulangan geser minimum)

$$184468.16 \text{ N} < 261827.1124 \text{ N} > 249845.29 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 $\phi(V_c + V_s \text{ min}) < V_u < \phi(V_c + V_s \text{ maks})$
(Tulangan geser minimum)

$$249845.29 \text{ N} < 261827.1124 \text{ N} < 542553.43 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 4**.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{261827.1124 - (0.75 \times 245957.55)}{0.75}$$

$$= 103145.26 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser jarak 75 mm, maka luasan tulangan geser yang dibutuhkan adalah:

$$A_v \text{ perlu} = \frac{S \text{ rencana} \times V_s \text{ perlu}}{f_{yv} \times d}$$

$$= \frac{75 \times 103145.26}{240 \times 587}$$

$$= 54.91 \text{ mm}^2$$

Gabungan Antara geser lentur dan momen puntir membutuhkan sengkang tertutup dengan luasan penampang total:

$$A_v \text{ perlu} + 2A_t = 54.91 + (2 \times 0.7099 \times 75 \text{ mm})$$

$$= 161.41 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser diameter 12 mm jarak 75 mm dengan 2 kaki, maka luasan geser :

$$A_v \text{ pakai} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 1/4 \times 3.14 \times (12 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 226.1 \text{ mm}^2$$

Syarat: $A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu}$

$$226.1 \text{ mm}^2 > 161.41 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan dengan jarak $\emptyset 12$ jarak 75 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$75 \text{ mm} \leq 587 \text{ mm}/2$$

$$75 \text{ mm} < 293.5 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$75 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser jarak $\emptyset 12$ jarak 75 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari **d/2** sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

$$S_{\text{pakai}} < d/4$$

$$75 \text{ mm} < 587 \text{ mm}/4$$

$$75 \text{ mm} < 146.75 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8 \emptyset \text{ lentur}$$

$$75 \text{ mm} < 8 \times 22 \text{ mm}$$

75 mm < 176 mm **(Memenuhi)**

Spakai < 24 Ø sengkang

75 mm < 24 x 12mm

75 mm < 288 mm **(Memenuhi)**

Spakai < 300 mm

75 mm < 300 mm

75 mm < 300 mm **(Memenuhi)**

Jadi penulangan geser balok BI (450/650) pada wilayah 1 dan 3 Daerah tumpuan dipasang Ø12-75 mm dengan sengkang 2 kaki.

DAERAH LAPANGAN

Dengan data balok sebagai berikut :

$$\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} = \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u1} = 191793700 \text{ N}$$

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \ln - 2h)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u2} = \frac{191793700 \text{ N} \times (\frac{1}{2} \times 8500 \text{ mm} - 2 \times 650 \text{ mm})}{\frac{1}{2} \times 8500 \text{ mm}}$$

$$V_{u2} = 133127.39 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa}$$

5.4772255 MPa 75 < 8.3 MPa **(Memenuhi)**

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{30} \times 450 \times 587 \\ &= 245957.55 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times b \times d$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0.33 \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 87169.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= \frac{1}{3} \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 477447.01 \text{ N} \end{aligned}$$

$$2V_s \text{ max} = 0.66 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} 2V_s \text{ max} &= 0.66 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 954894.03 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

$$133127.39 \text{ N} > 92234.08 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)Kondisi 2 $0.5 \phi V_c > V_u < \phi V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$92234.08 \text{ N} < 133127.39 \text{ N} < 184468.16 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 2**.

Direncanakan menggunakan tulangan geser jarak 100 mm, maka luasan tulangan geser yang dibutuhkan adalah:

$$A_v \text{ perlu min} = \frac{b \times s}{3 \times f_y}$$

$$A_v \text{ perlu min} = \frac{450 \times 100}{3 \times 240}$$

$$= 62.5 \text{ mm}^2$$

Gabungan antara geser lentur dan momen puntir membutuhkan sengkang tertutup dengan luas penampang total:

$$A_v + 2 A_t = 62.5 \text{ mm}^2 + (2 \times 0.7099 \times 100 \text{ mm})$$

$$= 204.5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser diameter 12 mm jarak 100 dengan 2 kaki, maka luasan geser :

$$A_v = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 1/4 \times 3.14 \times (12 \text{ mm})^2$$

$$= 226.1 \text{ mm}^2$$

Syarat: $A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu}$

$$226.1 \text{ mm}^2 > 204.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan dengan jarak Ø12 jarak 100 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan Kondisi 2

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$100 \text{ mm} \leq 587 \text{ mm}/2$$

$$100 \text{ mm} < 293.5 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser jarak Ø12 jarak 100 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** iukur dari muka komponen

struktur penumpu kearah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

Spakai $< d/4$

100 mm $< 587 \text{ mm}/4$

100 mm $< 146.75 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Spakai $< 8 \text{ } \emptyset \text{ lentur}$

100 mm $< 8 \times 22 \text{ mm}$

100 mm $< 176 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Spakai $< 24 \text{ } \emptyset \text{ sengkang}$

100 mm $< 24 \times 12 \text{ mm}$

100 mm $< 288 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Spakai $< 300 \text{ mm}$

100 mm $< 300 \text{ mm}$

100 mm $< 300 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Jadi penulangan geser balok BI (450/650) pada wilayah 2 Daerah lapangan dipasang $\emptyset 12$ -100 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.1.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.

➤ **Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm

[**SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1**]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

| | Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil | Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar |
|--|---|---|
| Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b | $\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |
| Kasus-kasus lain | $\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |

Dimana:

ℓ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

Ψ_t = faktor lokasi penulangan

Ψ_e = faktor pelapis

Tabel 4. 15 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

| Ψ_t faktor lokasi penulangan | |
|---|-----|
| Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau | 1.3 |
| Tulangan lain | 1.0 |

Ψ_e faktor pelapis

| | |
|---|-----|
| Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$ | 1.5 |
| Batang atau kawat tulangan epoksi lainnya | 1.2 |
| Tulangan tanpa pelapis | 1.0 |

λ = faktor beton agregat ringan
 = 1 (beton normal)

Perhitungan

$$l_d = \left[\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$l_d = \left[\frac{400 \times 1 \times 1.5}{1.7 \times 1 \sqrt{30}} \right] 22$$

$$= 1417.63 \text{ mm}$$

Syarat: $l_d > 300 \text{ mm}$

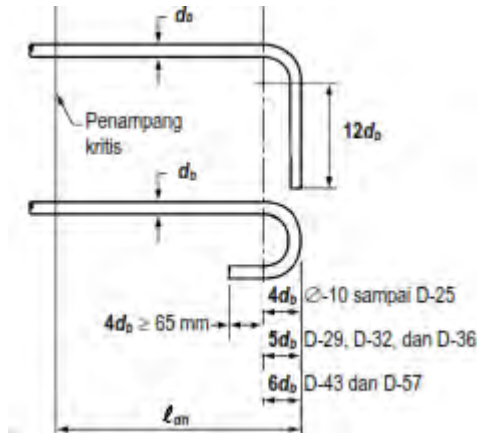
1417.63 mm > 300 mm **(Memenuhi)**

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 1450 mm

➤ **Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir l_d harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1.2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0.75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1.0.



Gambar 4. 25 Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dh} > 150 \text{ mm} \quad \text{SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1}$$

$$385.6 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik adalah 400 mm.

Panjang kait:

$$12 \times d_b = 12 (22 \text{ mm}) = 264 \text{ mm}$$

➤ Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

Panjang penyaluran tulangan alam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385.6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0.043 f_y) d_b$$

$$= (0,043 \times 400) \times 22 = 378.4 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil} = 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

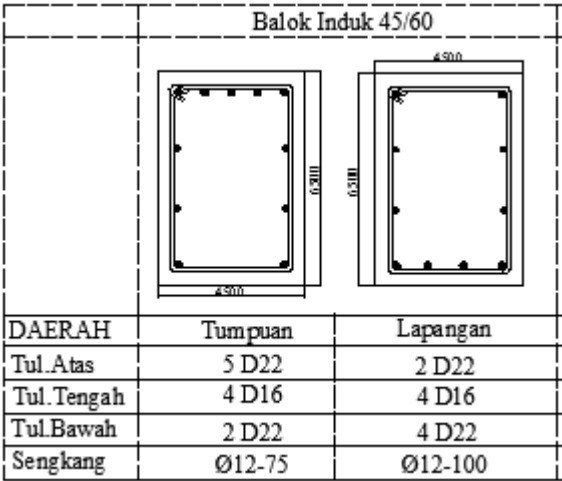
$$l_{dc} > 200 \text{ mm} \quad \text{SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1}$$

$$400 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

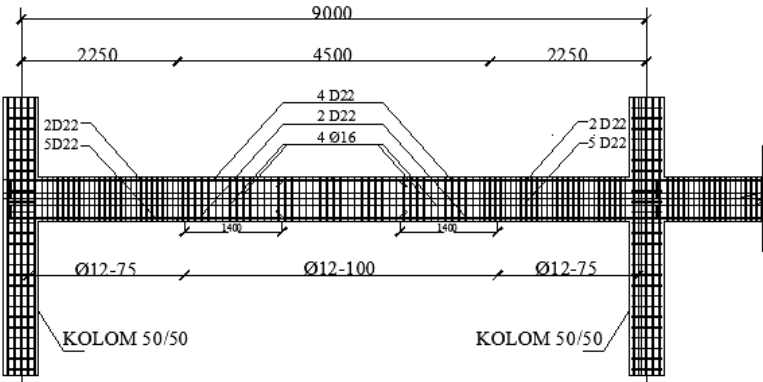
Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan adalah 400 mm.

Panjang kait:

$$4 d_b + 4 d_b = 4 (22 \text{ mm}) + 4 (22 \text{ mm}) = 176 \text{ mm}$$



Gambar 4. 26 Penulangan Balok Induk



Gambar 4. 27 Detail Penulangan Balok Induk

4.5.2 Perhitungan Balok Anak

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan balok induk : BA (35/50) As A-A' (2') elevasi \pm 4.00. Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut : Data-data perencanaan tulangan balok:

| | |
|--|--------------|
| Tipe balok | : BA 350/500 |
| Bentang balok | : 3650 mm |
| Dimensi balok (b balok) | : 350 mm |
| Dimensi balok (h balok) | : 500 mm |
| Bentang kolom (L kolom) | : 4000 mm |
| Dimensi kolom (h kolom) | : 500 mm |
| Dimensi kolom (b kolom) | : 500 mm |
| Kuat tekan beton (f_c') | : 30 Mpa |
| Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | : 400 Mpa |
| Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) | : 240 Mpa |
| Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | : 400 Mpa |
| Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) | : 19 mm |
| Diameter tulangan geser (\emptyset geser) | : 10 mm |
| Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) | : 13 mm |
| Cot θ^2 | : 1 |
| Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | |
| Jarak spasi tulangan antar lapis | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2) | |
| Tebal selimut beton (t decking) | : 40 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1) | |
| Faktor β_1 | : 0.85 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.7.3) | |
| Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) | : 0.9 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1) | |
| Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) | : 0.75 |

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0.75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Maka tinggi efektif balok :

$$d = h - \text{decking} - \text{\O sengkang} - 1/2 \text{\O tul.lentur}$$

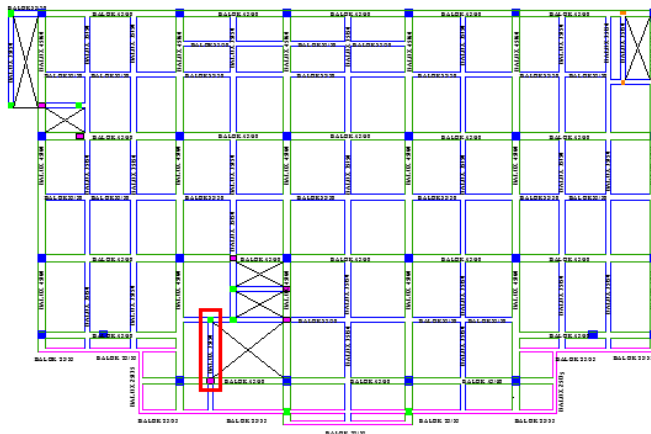
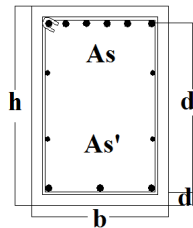
$$= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 1/2 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$= 440.5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \text{\O sengkang} + 1/2 \text{\O tul.lentur}$$

$$= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 1/2 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$= 59.5 \text{ mm}$$



Gambar 4. 28 Denah Balok yang Ditinjau

b. Hasil Output dan Diagram Gaya dalam dari Analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulanganbalok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

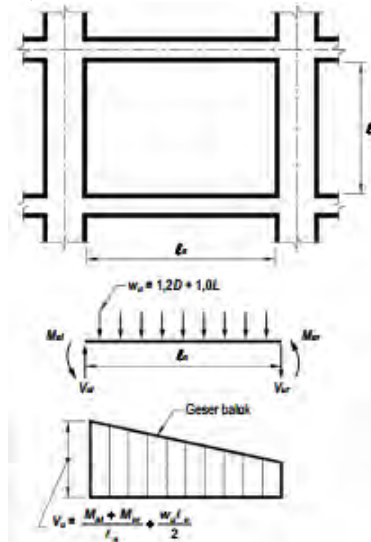
Kombinasi Beban Non Gempa :

- Pembebanan akibat beban mati
= 1,4 DL
- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.
= 1,2 DL + 1,6 LL
- Pembebanan akibat beban mati, beban hidup dan beban angin.
= 1,2 DL + 1,6 LL + 0,8 W
- Pembebanan akibat beban mati dan beban angin.
= 0,9 DL + 1,0 W

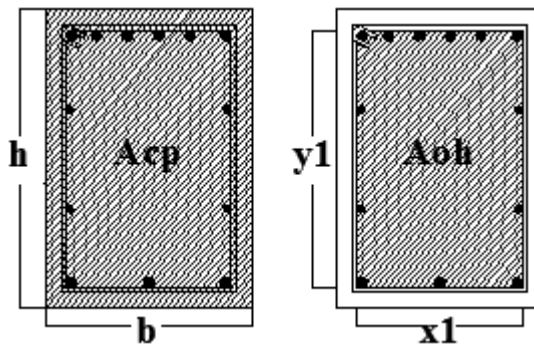
Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.
= 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQX + 0,3 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y
= 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQX + 1,0 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.
= 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQX - 0,3 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y
= 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQX - 1,0 EQY

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar : Luasan A_{cp} dan A_{oh}

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 175000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Pcp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang Aoh

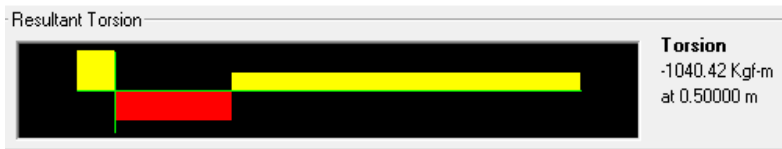
$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 106600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \cdot ((b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 1340 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.5.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari SAP 2000, diperoleh momen puntir :
Akibat kombinasi 1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey



Momen puntir ultimate :

$$T_u = 1040.42 \text{ Kgm} = 10404200 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\emptyset} = \frac{10404200 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$= 13872266.67 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

Akibat kombinasi $1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey$

$$V_u = 88626.2 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$T_u \text{ min} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1(a)

$$T_u \text{ min} = \phi 0.083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{175000^2}{1700} \right)$$

$$= 6142245.3 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 (a)

$$T_u \text{ max} = 0.33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{175000^2}{1700} \right)$$

$$= 24420975.4 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{umin} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u$

$6142245.3 \text{ Nmm} < 24420975.4 \text{ Nmm} \rightarrow$ **(Memerlukan tulangan puntir)**

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66\sqrt{f_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{88626,2}{350 \times 440,5}\right)^2 + \left(\frac{10404200 \times 1340}{1,7 \times 106600^2}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 440,5}{350 \times 440,5} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

0,575 < 3,41 (**Memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} Ph \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang = 45°

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 106600 \text{ mm}^2 \\ &= 90610 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{13872266.67 \text{ Nmm}}{2 \times 90610 \times 240 \times \cot 45^\circ}$$

$$= 0.319 \text{ mm}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{F_{yv}}{F_{yt}} \right) \cot^2 \phi$$

$$A_l \text{ perlu} = 0.319 \times 1340 \times \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45$$

$$A_l \text{ perlu} = 256.44 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42\sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \frac{F_{yv}}{F_{yt}}$$

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42\sqrt{30} \times 175000}{400} - (0.319) \times 1340 \times \frac{240}{400}$$

$$= 749.99 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \leq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ min}$

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ perlu}$

$256.44 \text{ mm}^2 \leq 749.99 \text{ mm}^2$ (**Maka menggunakan $A_l \text{ min}$**)

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar 749.99 mm^2

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{749.99}{4} = 187.49 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir 187.49 mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 187.49 = 374.99 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan tulangan puntir}}$$

$$n = \frac{374.99}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

$$= 2,83 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D13

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} \text{As} &= n \times \text{luasan tulangan puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi (13 \text{ mm})^2 \\ &= 530.66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

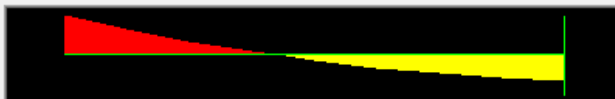
Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 530.66 \text{ mm}^2 &\geq 374.99 \text{ mm}^2 \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

4.5.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KANAN

Resultant Moment



Moment M3
7895.24 Kgf-m
at 4.00000 m

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi

$$1.2D + 0.2SD_s + 1L - 1Ex - 0.3Ey$$

Mu tumpuan : 78952400 Nmm

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu_{tumpuan}}{\phi}$$

$$Mn = \frac{78952400 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 87724888.89 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 440.5$$

$$Xb = 264.3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\max} = 0,75 Xb$$

$$= 0,75 \times 264.3 \text{ mm}$$

$$= 198.225 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 59.5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 0.5 \times Xb$$

$$= 0.5 \times 264.3 \text{ mm}$$

$$= 132.15 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 132.15$$

$$= 1002522.94 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{Cc'}{F_y}$$

$$Asc = \frac{1002522.94 \text{ N}}{400}$$

$$Asc = 2506.31 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$= 2506.31 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(440.5 - \frac{0.85 \times 132.15 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 385305906 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 87724888.89 \text{ Nmm} - 385305906 \text{ Nmm}$$

$$= -297581017 \text{ Nmm}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -297581017 \text{ Nmm} \leq 0$ (**Tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0.85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0.75 \times 0.032513 \\ &= 0.02438 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} = \frac{78952400 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 87724888.89 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{87724888.89}{350 \times 440.5^2} \\ &= 1.29 \end{aligned}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 1.29}{400}} \right] \\ &= 0.0033 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0035 > 0.0033 < 0.02438$ **(Tidak Memenuhi)**
 Diperbesar 30% = $1.3 \times 0.0033 = 0.00342$
 $0,0035 > 0.00342 < 0.02438$ **(Tidak Memenuhi)**
 Maka menggunakan $\rho_{\min} = 0.0035$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0.0035 \times 350 \times 440.5 \\
 &= 531.9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 A_{s \text{ perlu}} &= 531.9 \text{ mm}^2 + \frac{749.99 \text{ mm}^2}{4} \\
 A_{s \text{ perlu}} &= 719.4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}} \\
 n &= \frac{719.4 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$n = 2.54 \approx 4$$

Dipasang tulangan lentur 4 D19

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 1133.54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &> A_{s \text{ perlu}} \\
 1133.54 \text{ mm}^2 &> 722.24 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut **SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ \text{As perlu} &= 0.3 \times 0 + \frac{749.99 \text{ mm}^2}{4} \\ \text{As perlu} &= 187.49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{187.49 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19 \text{ mm}^2} \\ &= 0.666 \text{ buah} \approx 2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 566.77 \text{ mm}^2 &> 187.42 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 59.33 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S \text{ syarat agregat}$

58mm > 25 mm **(Memenuhi)**

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 212 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S \text{ syarat agregat}$

212 mm > 25 mm **(Memenuhi)**

Maka dipakai tulangan lentur balok Anak 350/500 untuk daerah tumpuan:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 4 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung

komponen tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1133.54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 377.85 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 4 D19

Tulangan tekan = 2 D19

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{(A_s - A_s') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1133.54 - 566.77) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 25.401 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 25.401 \text{ mm} \\ &= 226708 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \text{ pasang} \times f_y \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 226708 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= Cc'x \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs'x (d - d') \\ &= 226708 \left(440.5 - \frac{25.4}{2} \right) + 226708(440.5 - 59.5) \\ &= 183361265 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$183361265 \text{ Nmm} > 87724888.89 \text{ Nmm}$ (**Memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (35/50) As A-A' (2') elevasi ± 4.00 . pada daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 4 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D19

DAERAH TUMPUAN KIRI



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi

1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey

Mu tumpuan : 124595900 Nmm

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{\phi}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{124595900 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 138439888.9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 440.5$$

$$X_b = 264.3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 X_b \\ &= 0,75 \times 264.3 \text{ mm} \\ &= 198.225 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 59.5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$\begin{aligned} X_{\text{rencana}} &= 0.5 \times X_b \\ &= 0.5 \times 264.3 \text{ mm} \\ &= 132.15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 132.15 \\ &= 1002522.94 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c'}{F_y} \\ A_{sc} &= \frac{1002522.94 \text{ N}}{400} \\ A_{sc} &= 2506.31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 2506.31 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(440.5 - \frac{0.85 \times 132.15 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 385305906 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 138439889 \text{ Nmm} - 385305906 \text{ Nmm} \\
 &= -246866017 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -246866017 \text{ Nmm} \leq 0$ (**Tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{F_y}{0.85 f_c'} \\
 m &= \frac{400}{0.85 \times 300} = 15.68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1.4}{F_y} \\
 \rho_{min} &= \frac{1.4}{400} = 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\
 \rho_b &= \frac{0.85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}
 \end{aligned}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0.75 \times 0.032513 \\ &= 0.02438\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{Mu \text{ tumpuan}}{\phi} = \frac{124595900 \text{ Nmm}}{0.9} \\ &= 138439889 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{138439889 \text{ Nmm}}{350 \times 440.5^2} \\ &= 2.04\end{aligned}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ \rho &= \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 2.04}{400}} \right] \\ &= 0.0053\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat : } \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\ 0,0035 &< 0.0053 < 0.02438\end{aligned} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0053 \times 350 \times 440.5 \\ &= 819.89 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As \text{ perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 819.89 \text{ mm}^2 + \frac{749.99 \text{ mm}^2}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 1007.39 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ 1007.39 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$n = 3.55 \text{ buah} \approx 4$$

Dipasang tulangan lentur 4 D19 (mengikuti As terbesar tumpuan kanan)

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$= 1133.54 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$$

$$1133.54 \text{ mm}^2 > 1007.39 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI **03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$As \text{ perlu} = 0.3 \times As + \frac{Al}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 0.3 \times 0 + \frac{749.99 \text{ mm}^2}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 187.49 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{187.49 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2}$$

$$= 0.66 \text{ buah} \approx 2$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$566.77 \text{ mm}^2 > 187.49 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol tulangan tarik

$$\text{Smax} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$\text{Smax} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 58 \text{ mm}$$

Syarat: $\text{Smaks} \geq \text{Ssyarat agregat}$

$$58 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 212 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$212 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Maka dipakai tulangan lentur balok Anak 350/500 untuk daerah tumpuan:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 4 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1133,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \end{aligned}$$

$$= 566.77 \text{ mm}^2$$

Mlentur tumpuan (+) \geq 1/3 Mlentur tumpuan (-)

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 377.85 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 4 D19

Tulangan tekan = 2 D19

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{(A_s - A_s') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1133.54 - 566.77) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 25.4 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$C_c' = 0.85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 25.4 \text{ mm}$$

$$= 3372281.5 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' \text{ pasang} \times f_y$$

$$= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400$$

$$= 226708 \text{ N}$$

$$M_n \text{ pasang} = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d')$$

$$= 3372281.5 \left(440.5 - \frac{25.4}{2} \right) + 226708(440.5 - 59.5)$$

$$= 1529035318 \text{ Nmm}$$

Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

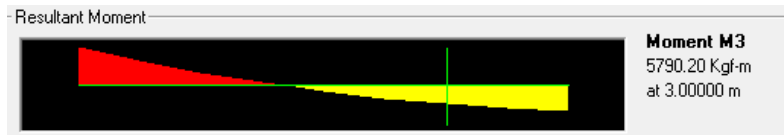
$$1529035318 \text{ Nmm} > 138439889 \text{ Nmm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok Anak (35/50) As A-A' (2') elevasi \pm 4.00. pada daerah tumpuan dipakai tulangan

tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 4 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D19

DAERAH LAPANGAN



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi
1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey
 Mu tumpuan : 57902000 Nmm

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{57902000 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 64335555.56 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 440.5$$

$$X_b = 264.3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\text{max}} = 0.75 X_b$$

$$= 0.75 \times 264.3 \text{ mm}$$

$$= 198.225 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 59.5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$\begin{aligned} X_{\text{rencana}} &= 0.5 \times X_b \\ &= 0.5 \times 264.3 \text{ mm} \\ &= 132.15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_{c'} &= 0.85 \times f_{c'} \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0.85 \times 30 \times 350 \times 0.85 \times 132.15 \\ &= 1002522.94 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_{c'}}{F_y} \\ A_{sc} &= \frac{1002522.94 \text{ N}}{400} \\ A_{sc} &= 2506.31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 2506.31 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(440.5 - \frac{0.85 \times 132.15 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 385305906.3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 64335555.6 \text{ Nmm} - 385305906.3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$= -320970350.8 \text{ Nmm}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -324477099 \text{ Nmm} \leq 0$ (Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{M_u \text{ lapangan}}{\phi} = \frac{57902000 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 64335555.6 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{64335555.6 \text{ Nmm}}{350 \times 442.5^2} = 0.95$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 0.95}{400}} \right]$$

$$= 0.0024$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 > 0.0024 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Diperbesar } 30\% = 1.3 \times 0.000999 = 0.0031$$

$$0,0035 > 0.0031 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

Maka menggunakan $\rho_{\min} = 0.0035$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.0035 \times 350 \times 440.5$$

$$= 539.6 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 539.6 \text{ mm}^2 + \frac{749.99 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 727.11 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\ 727.11 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 2.57 \text{ buah} \approx 3$$

Dipasang tulangan lentur 3 D19

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$= 850.16 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$850.16 \text{ mm}^2 > 727.11 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut **SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\text{As perlu} = 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ \text{As perlu} = 0.3 \times 0 + \frac{749.99 \text{ mm}^2}{4}$$

$$\text{As perlu} = 187.49 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\ 187.49 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2}$$

$$= 0.656 \text{ buah} \approx 2$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$566.77 \text{ mm}^2 > 187.49 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} \text{Smax} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ \text{Smax} &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat: $\text{Smaks} \geq \text{Ssyarat agregat}$

$$51 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned} \text{Smax} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ \text{Smax} &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

216 mm > 25 mm

(Memenuhi)

Maka dipakai tulangan lentur balok Anak 350/500 untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 3 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 850.155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 850.155 \text{ mm}^2$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 283.385 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 3 D19

Tulangan tekan = 2 D19

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{(A_s - A_s') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(850.155 - 566.77) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 12.7 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$C_c' = 0.85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$$

$$= 113354 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' \times f_y$$

$$= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 226708 \text{ N}$$

$$M_n \text{ pasang} = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d')$$

$$= 113354 \left(440.5 - \frac{12.7}{2} \right) + 226708 (440.5 - 59.5)$$

$$= 135588345.8 \text{ Nmm}$$

Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$135588345.8 \text{ Nmm} > 64335555.6 \text{ Nmm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok Anak (35/50) As A-A' (2') elevasi ± 4.00 . pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 3 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis

Lapis 1 : 2 D19

4.5.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

DAERAH TUMPUAN

Momen Nominal Kanan :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As tulangan tarik} = 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan tekan} = 566.77 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{\left(1133.54 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm}}$$

$$a = 50.8 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = \text{As} \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 1133.54 \text{ mm}^2 \times 400 \times \left(440.5 - \frac{50.8}{2}\right)$$

$$= 188212321 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kiri :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As tulangan tarik} = 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan tekan} = 566.77 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{\left(566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm}}$$

$$a = 25.4 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

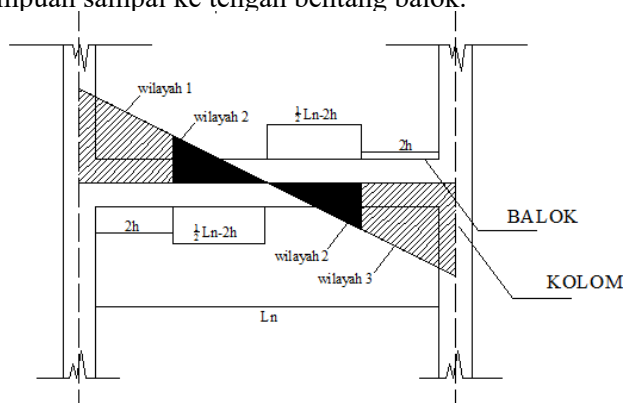
$$= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \times \left(440.5 - \frac{25.4}{2}\right)$$

$$= 96985517.3 \text{ Nmm}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

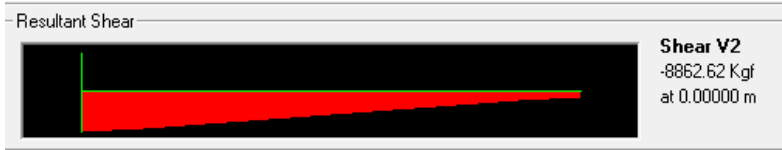
Pembagian Geser Balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejauh dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang. **SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3**
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 tumpuan sampai ke tengah bentang balok.



Pada wilayah 1 dan 3 (Daerah tumpuan)

Berdasarkan hasil output diagram gaya geser akibat kombinasi 1.2D+0.2Sds+1L-0.3Ex-1Ey dari analisa SAP 2000, didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 88626 \text{ N}$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.21.3

$$V_{u1} = \frac{188212321 + 96985517.3}{3650 \text{ mm}} + 88626 \text{ N}$$

$$= 166762.694 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3$$

$$\sqrt{30} < 8.3$$

$$5.477225575 < 8.3$$

(Memenuhi)

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 440.5$$

$$= 143556.713 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times 350 \text{ mm} \times 440.5 \text{ mm}$$

$$= 50877.75 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm} \times 440.5 \text{ mm}$$

$$= 278668.914 \text{ N}$$

$$2V_s \max = 0.66\sqrt{f_c} b w x d \text{ SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9}$$

$$2V_s \max = 0.66\sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350\text{mm} \times 440.5 \text{ mm}$$

$$= 557337.827 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

$$166762.694 \text{ N} > 53833.77 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 $0.5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$53833.77 \text{ N} < 166762.694 \text{ N} > 107667.53 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 $\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_s \text{ min})$ (Tulangan geser minimum)

$$107667.53 \text{ N} < 166762.694 \text{ N} > 145825.85 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 $\phi(V_c + V_s \text{ min}) < V_u < \phi(V_c + V_s \text{ maks})$

(Tulangan geser minimum)

$$145825.85 \text{ N} < 166762.694 \text{ N} < 316669.22 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 4.**

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{166762.694 - (0.75 \times 143556.713)}{0.75}$$

$$= 78793.41 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser jarak 75 mm, maka luasan tulangan geser yang dibutuhkan adalah:

$$A_v \text{ perlu} = \frac{S \text{ rencana} \times V_s \text{ perlu}}{f_{yv} \times d}$$

$$= \frac{75 \times 78793.41}{240 \times 440.5}$$

$$= 55.9 \text{ mm}^2$$

Gabungan Antara geser lentur dan momen puntir membutuhkan sengkang tertutup dengan luasan penampang total:

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} + 2A_t &= 55.9 + (2 \times 0.319 \times 100 \text{ mm}) \\ &= 103.74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser diameter 10 mm jarak 75 mm dengan 2 kaki, maka luasan geser :

$$\begin{aligned} A_v \text{ pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 1/4 \times 3.14 \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157.1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat: $A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu}$

$$157.1 \text{ mm}^2 > 103.74 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan dengan jarak Ø10 jarak 75 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$75 \text{ mm} \leq 440.5/2$$

$$75 \text{ mm} < 220.25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$75 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser jarak Ø10 jarak 75 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

Spakai $< d/4$

75 mm $< 440.5/4$

75 mm < 110.125 mm

(Memenuhi)

Spakai $< 8 \text{ } \emptyset$ lentur

75 mm $< 8 \times 19$ mm

75 mm < 152 mm

(Memenuhi)

Spakai $< 24 \text{ } \emptyset$ sengkang

75 mm $< 24 \times 10$ mm

75 mm < 240 mm

(Memenuhi)

Spakai < 300 mm

75 mm < 300 mm

75 mm < 300 mm

(Memenuhi)

Jadi penulangan geser balok BA (350/500) pada wilayah 1 dan 3 (Daerah tumpuan dipasang $\emptyset 10$ -75 mm dengan sengkang 2 kaki.

DAERAH LAPANGAN

Dengan data balok sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_1 = 88626 \text{ N}$$

$$V_{u_2} = \frac{V_{u_1} \times (\frac{1}{2} \ln - 2h)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$V_{u_2} = \frac{88626 \text{ N} \times (\frac{1}{2} \times 3650 \text{ mm} - 2 \times 500 \text{ mm})}{\frac{1}{2} \times 3650 \text{ mm}}$$

$$V_{u_2} = 40063.9 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$5.4772255 \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad \textbf{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 440.5$$

$$= 143556.713 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times b \times d$$

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times 350 \text{ mm} \times 440.5 \text{ mm}$$

$$= 50877.75 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \textbf{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm} \times 440.5 \text{ mm}$$

$$= 278668.91 \text{ N}$$

$$2V_s \text{ max} = 0.66 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$2V_s \max = 0.66 \sqrt{30} \frac{N}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm} \times 440.5 \text{ mm} \\ = 557337.827 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)
 $40063.9 \text{ N} < 53833.77 \text{ N}$ **(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 1**

Secara teoretik tidak memerlukan tulangan geser, baik dari keperluan geser lentur maupun puntir, penampang tidak membutuhkan tulangan geser.

Maka, dipakai sengkang tertutup praktis $\phi 10$ -100 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- $d/4$
- Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- 300 mm

Spakai $< d/4$

100 mm $< 440.5/4$

100 mm $< 110.125 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Spakai $< 8 \phi$ lentur

100 mm $< 8 \times 19 \text{ mm}$

100 mm $< 152 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Spakai < 24 Ø sengkang
 100 mm < 24 x 10 mm
 100 mm < 240 mm

(Memenuhi)

Spakai < 300mm
 100 mm < 300mm
 100 mm < 300mm

(Memenuhi)

Jadi penulangan geser balok BA (350/500) pada wilayah 2 (Daerah lapangan dipasang Ø10-100 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.2.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.

➤ Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2 sebagai berikut:

| | Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil | Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar |
|--|---|---|
| Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b | $\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{2,12 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1,72 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |
| Kasus-kasus lain | $\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1,42 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1,12 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |

| | |
|----------|---|
| l_d | = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik |
| d_b | = diameter tulangan lentur yang dipakai |
| ψ_t | = faktor lokasi penulangan |
| ψ_e | = faktor pelapis |

| ψ_t faktor lokasi penulangan | |
|---|-----|
| Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau | 1.3 |
| Tulangan lain | 1.0 |

| ψ_e faktor pelapis | |
|---|-----|
| Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$ | 1.5 |
| Batang atau kawat tulangan epoksi lainnya | 1.2 |
| Tulangan tanpa pelapis | 1.0 |

λ = faktor beton agregat ringan
 = 1 (beton normal)

Perhitungan

$$l_d = \left[\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$= \left[\frac{400 \times 1 \times 1.5}{1.7 \times 1 \sqrt{30}} \right] 19$$

$$= 1224.3 \text{ mm}$$

Syarat: $l_d > 300 \text{ mm}$

$1224.3 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$

(Memenuhi)

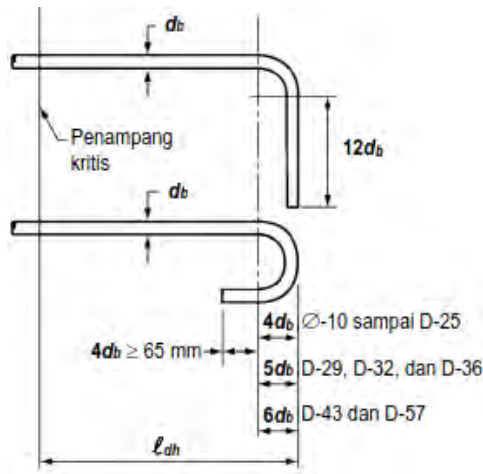
Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 1250 mm

➤ **Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir l_{dh} harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1.2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0.75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1.0.



$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 19$$

$$= 333.02 \text{ mm}$$

Syarat:

$l_{dh} > 150 \text{ mm}$ **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1**

333.02 mm > 150 mm **(Memenuhi)**

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik adalah 350 mm.

Panjang kait:

$$12 \times db = 12 (19\text{mm}) = 228 \text{ mm}$$

➤ **Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan**

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3**

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 19$$

$$= 333.02 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0.043 f_y) d_b$$

$$= (0,043 \times 400) \times 19 = 326.8 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil} = 333.02 \text{ mm}$$

Syarat:

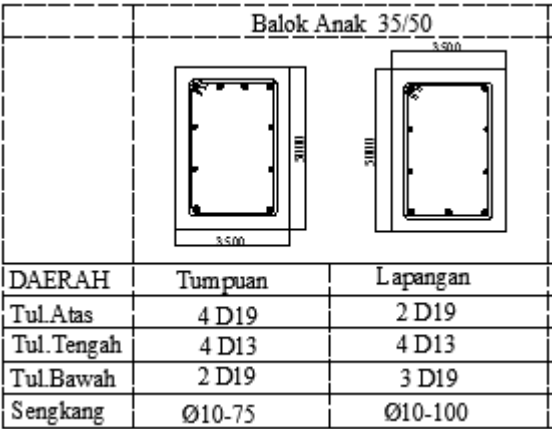
$$l_{dc} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1}$$

$$333.02 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

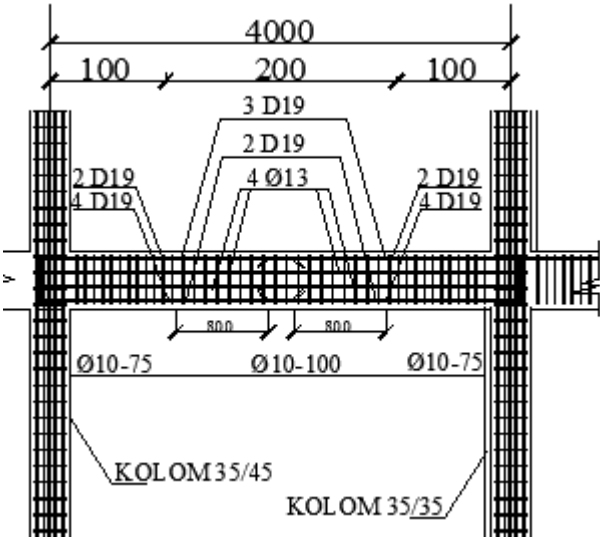
Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan adalah 350 mm.

Panjang kait:

$$4 db + 4 db = 4 (19 \text{ mm}) + 4 (19 \text{ mm}) = 152 \text{ mm}$$



Gambar 4. 29 Penulangan Balok Anak



Gambar 4. 30 Detail Penulangan Balok Anak

4.5.3 Perhitungan Sloof

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan sloof : Sloof (50/65) As D (1-1') elevasi ± 0.00 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

Data-data perencanaan tulangan balok:

| | |
|--|--------------|
| Tipe balok | : S1 500/650 |
| Bentang balok | : 8500 mm |
| Dimensi balok (b balok) | : 500 mm |
| Dimensi balok (h balok) | : 650 mm |
| Bentang kolom (L kolom) | : 4000 mm |
| Dimensi kolom (h kolom) | : 500 mm |
| Dimensi kolom (b kolom) | : 500 mm |
| Kuat tekan beton (f_c') | : 30 Mpa |
| Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | : 400 Mpa |
| Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) | : 240 Mpa |
| Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | : 400 Mpa |
| Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) | : 22 mm |
| Diameter tulangan geser (\emptyset geser) | : 12 mm |
| Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) | : 19 mm |
| Cot θ^2 | : 1 |
| Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | |
| Jarak spasi tulangan antar lapis | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2) | |
| Tebal selimut beton (t decking) | : 40 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1) | |
| Faktor β_1 | : 0.85 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.7.3) | |
| Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) | : 0.9 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1) | |
| Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) | : 0.75 |

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

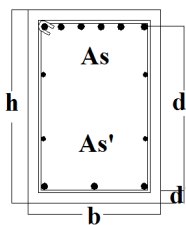
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0.75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

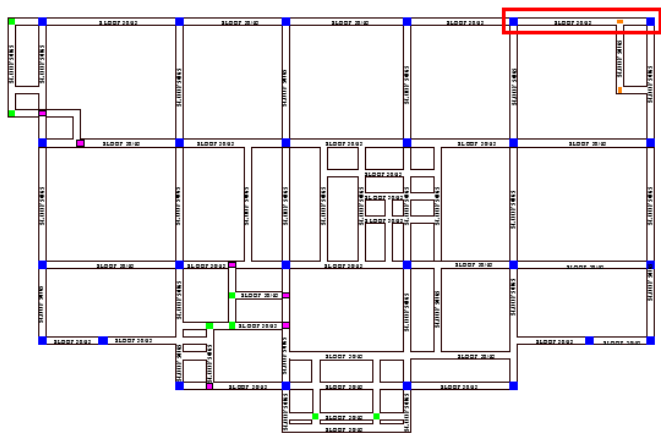
Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{\O sengkang} - 1/2 \text{\O tul.lentur} \\ &= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - 1/2.22 \text{ mm} \\ &= 587 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \text{\O sengkang} + 1/2 \text{\O tul.lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + 1/2.22 \text{ mm} \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar : Tinggi efektif balok



Gambar 4. 31 Denah Balok yang Ditinjau

b. Hasil Output dan Diagram Gaya dalam dari Analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulanganbalok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

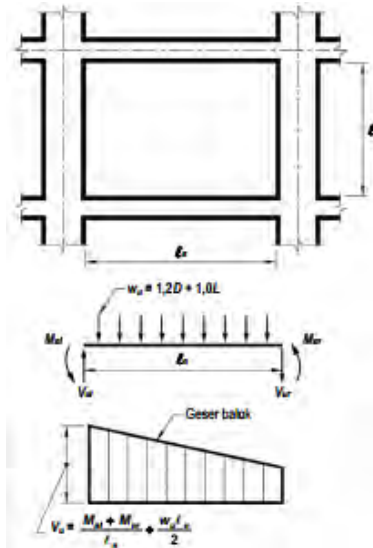
Kombinasi Beban Non Gempa :

- Pembebanan akibat beban mati
= 1,4 DL
- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.
= 1,2 DL + 1,6 LL
- Pembebanan akibat beban mati, beban hidup dan beban angin.
= 1,2 DL + 1,6 LL + 0,8 W
- Pembebanan akibat beban mati dan beban angin.
= 0,9 DL + 1,0 W

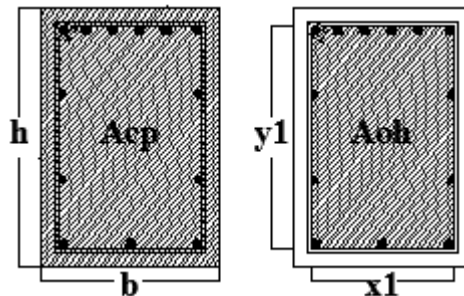
Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.
= 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQX + 0,3 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y
= 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQX + 1,0 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.
= 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQX - 0,3 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y
= 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQX - 1,0 EQY

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar : Luasan A_{cp} dan A_{oh}

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 500 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} \\ &= 325000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Pcp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (500\text{mm} + 650\text{mm}) \\ &= 2300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang Aoh

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (500\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 12\text{mm}) \times (650\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 12\text{mm}) \\ &= 227664 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

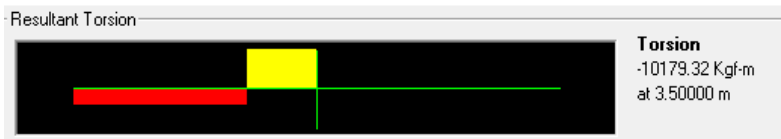
Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \cdot ((b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})) \\ &= 2 \times ((500\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm}) + (650\text{mm} - (2 \cdot 40\text{mm}) - 10\text{mm})) \\ &= 1932 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.5.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari SAP 2000, diperoleh momen puntir :

Akibat kombinasi 1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey



Momen puntir ultimate :

$$T_u = 10179.32 \text{ Kgm} = 101793200 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{101793200 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$= 135724266.7 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

Akibat kombinasi $1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey$

$$V_u = 117095.8 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$T_{u \text{ min}} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1(a)

$$T_{u \text{ min}} = \phi 0.083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{325000^2}{2300} \right)$$

$$= 15658093.03 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_{u \text{ max}} = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 (a)

$$T_{u \text{ max}} = 0.33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{325000^2}{2300} \right)$$

$$= 62255068.68 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \text{ min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \text{ min}} < T_u$

$$15658093.03 \text{ Nmm} < 101793200 \text{ Nmm} \rightarrow$$

(Memerlukan tulangan puntir)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66\sqrt{f_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{117095,8}{500 \times 587}\right)^2 + \left(\frac{101793200 \times 1932}{1,7 \times 227664^2}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{30} \times 500 \times 587}{500 \times 587} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

0.398 < 3,41 (**Memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} Ph \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang = 45°

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 227664 \text{ mm}^2 \\ &= 195160 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{135724266.7 \text{ Nmm}}{2 \times 193514.4 \times 400 \times \cot 45^\circ} \\ &= 1.46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{F_{yv}}{F_{yt}} \right) \cot^2 \emptyset$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ perlu} &= 1.46 \times 1932 \times \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 1693.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \frac{F_{yv}}{F_{yt}} \\ A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \sqrt{30} \times 325000}{400} - (1.46) 1932 \frac{240}{400} \\ &= 175.31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \leq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ min}$

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ perlu}$

$1686.47 \text{ mm}^2 \leq 167.79 \text{ mm}^2$ (**Maka menggunakan $A_l \text{ perlu}$**)

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar 16893.8 mm^2

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1693.8}{4} = 423.45 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 423,45 mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 423.45 = 846.9 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan tulangan puntir}} \\ = \frac{846.9}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2}$$

$$= 2,98 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D19

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} \text{As} &= n \times \text{luasan tulangan puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1133.54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

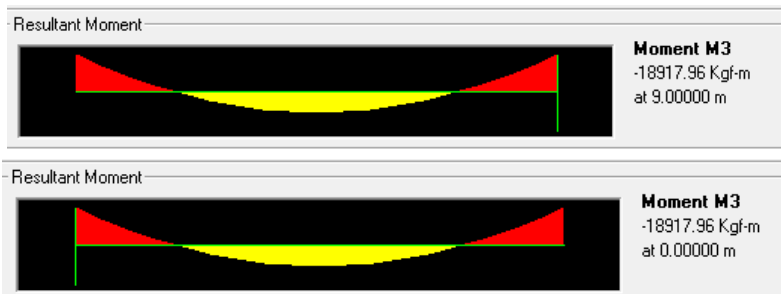
Kontrol :

As pasang \geq As perlu

$$1133.54 \text{ mm}^2 \geq 846.9 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

4.5.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KANAN DAN KIRI



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi

1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey

Mu tumpuan : 189179600 Nmm

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{\phi \cdot \mu_{\text{tumpuan}}}{0.9}$$

$$M_n = \frac{189179600 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 210199555.6 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 587$$

$$X_b = 352.2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\text{max}} = 0,75 X_b$$

$$= 0,75 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 264.15 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 0.5 \times X_b$$

$$= 0.5 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 176.1 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 500 \times 0,85 \times 176.1$$

$$= 1908483.75 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$A_{sc} = \frac{1908483.75 \text{ N}}{400}$$

$$A_{sc} = 4771.21 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 4777.21 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(587 \text{ mm} - \frac{0.85 \times 176.1 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 977444266.2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 210199555.6 \text{ Nmm} - 977444266.2 \text{ Nmm} \\ &= -767244710.6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -767244710.6 \text{ Nmm} \leq 0$ (**Tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0.85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} = \frac{189179600 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 210199555.6 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{210199555.6}{500 \times 587^2}$$

$$= 1.22$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 1.212}{400}} \right]$$

$$= 0.0031$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0.0035 > 0.0031 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Diperbesar } 30\% = 1.3 \times 0.0031 = 0.0041$$

$$0.0035 < 0.0041 < 0.02438 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka menggunakan $\rho = 0.0041$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.0041 \times 500 \times 587$$

$$= 1193.1 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 1193.1 \text{ mm}^2 + \frac{1693.8 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 1616.5 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$1616.5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = 4.24 \approx 5$$

Dipasang tulangan lentur 5 D22

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\
 &= 1899.7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 1899.7 \text{ mm}^2 &> 1616.5 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4} \\
 \text{As perlu} &= 0.3 \times 0 + \frac{1693.8 \text{ mm}^2}{4} \\
 \text{As perlu} &= 423.45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\
 n &= \frac{423.45 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \\
 &= 1.11 \text{ buah} \approx 2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D22

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\
 &= 759.88 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 759.88 \text{ mm}^2 &> 423.45 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$= 71.5 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S$ syarat agregat

$71.5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 352 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S$ syarat agregat

$352 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Maka dipakai tulangan lentur Sloof 500/650 untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5 D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D22

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3 \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1899.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1899.7 \text{ mm}^2 \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 633.23 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 5 D22

Tulangan tekan = 2 D22

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(As - As') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ a &= \left(\frac{(1899.7 - 759.88) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 500} \right) \\ a &= 35.76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} Cc' &= 0.85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 500\text{mm} \times 35.76 \text{ mm} \\ &= 455928 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \text{ pasang} \times f_y \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 303952 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + Cs' \times (d - d') \\ &= 455928 \times \left(587 - \frac{39.76}{2}\right) + 303952 \times (587 - 63) \\ &= 418748805.9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

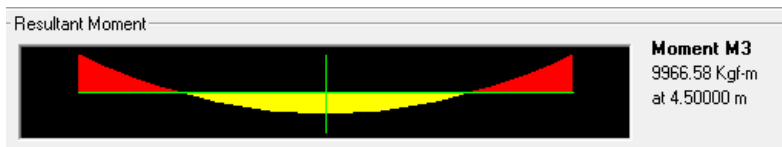
Maka: $Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$418748805.9 \text{ Nmm} > 210199555.6 \text{ Nmm}$ (**Memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof (50/65) As D (1-1') elevasi ± 0.00 . pada daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 5 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 5 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D22

DAERAH LAPANGAN



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi **1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey**

Mu tumpuan : 99665800 Nmm

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{99665800 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 110739777.8 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 587$$

$$X_b = 352.2 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\text{max}} = 0.75 X_b$$

$$= 0.75 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 264.15 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 63 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 0.5 \times X_b$$

$$= 0.5 \times 352.2 \text{ mm}$$

$$= 176.1 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_{c'} = 0.85 \times f_{c'} \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0.85 \times 30 \times 500 \times 0.85 \times 176.1$$

$$= 1908483.75 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{C_{c'}}{F_y}$$

$$A_{sc} = \frac{1908483.75 \text{ N}}{400}$$

$$A_{sc} = 4771.21 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 4771.2 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(587 \text{ mm} - \frac{0.85 \times 176.1 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 977444266.2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 110739777.8 \text{ Nmm} - 977444266.2 \text{ Nmm} \\ &= -866704448.8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$$M_{ns} = -866704448.8 \text{ Nmm} \leq 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0.85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{F_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{\text{Mu lapangan}}{\phi} = \frac{99665800 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 110739777.8 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{110739777.8 \text{ Nmm}}{500 \times 587^2}$$

$$= 0.64$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 0.64}{400}} \right]$$

$$= 0.0016$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 > 0.0016 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Diperbesar } 30\% = 1.3 \times 0.0016 = 0.0021$$

$$0,0035 > 0.0021 < 0.02438 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka menggunakan $\rho_{\min} = 0.0035$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0035 \times 500 \times 587 \\ &= 1027.25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_s \text{ perlu} &= 1027.25 \text{ mm}^2 + \frac{1693.8 \text{ mm}^2}{4} \end{aligned}$$

$$A_s \text{ perlu} = 1450.7 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\ n &= \frac{1450.7 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$n = 3.82 \text{ buah} \approx 4$$

Dipasang tulangan lentur 4 D22 (mengikuti A_s terbesar tumpuan kanan)

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1519.76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 1519.76 \text{ mm}^2 &> 1450.7 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \text{(Memenuhi)}$$

Luasan pasang (A_s') Tulangan Lentur Tekan

Menurut **SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ \text{As perlu} &= 0.3 \times 0 + \frac{1693.8 \text{ mm}^2}{4} \\ \text{As perlu} &= 423.45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\ n &= \frac{423.45 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2} \\ &= 1.11 \text{ buah} \approx 2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D22

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$759.88 \text{ mm}^2 > 423.45 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 76 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$76 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 356 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$352 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Maka dipakai tulangan lentur sloof 500/650 untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 4 D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D22

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung

komponen tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3 \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 1519.76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1519.8 \text{ mm}^2 \\ 759.88 \text{ mm}^2 &\geq 506.5867 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 4 D22

Tulangan tekan = 2 D22

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(A_s - A_s') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ a &= \left(\frac{(1519.76 - 759.88) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 500} \right) \\ a &= 23.84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 500 \text{ mm} \times 23.84 \text{ mm} \\ &= 303952 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \text{ pasang} \times f_y \\ &= 759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 303952 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + Cs' \times (d - d') \\ &= 303952 \times \left(587 - \frac{23.84}{2}\right) + 303952 \times (587 - 63) \\ &= 334067659.5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$334067659.5 \text{ Nmm} > 110739777.8 \text{ Nmm}$ (**Memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof (50/65) As D (1-1') elevasi ± 0.00 . pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 4 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D22

4.5.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

DAERAH TUMPUAN

Momen Nominal Kanan :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$As \text{ tulangan tarik} = 1899.7 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ tulangan tekan} = 759.88 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} \\ a &= \frac{\left(1899.7 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm}} \\ a &= 59.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1899.7 \text{ mm}^2 \times 400 \times \left(587 - \frac{59.6}{2}\right) \\
 &= 254043439.2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Kiri :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$A_s \text{ tulangan tarik} = 1899.7 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tulangan tekan} = 759.88 \text{ mm}^2$$

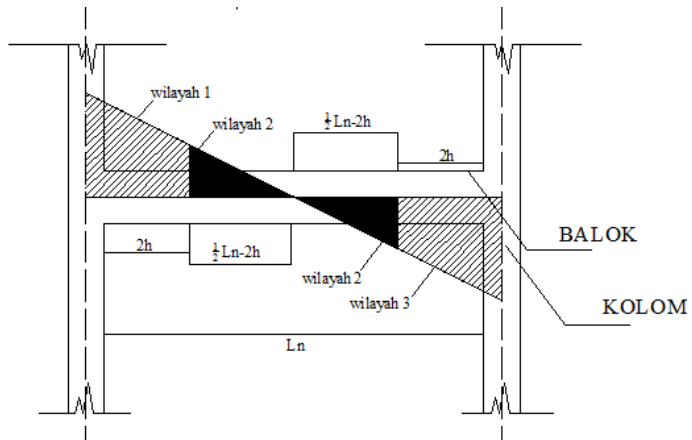
$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{\left(759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm}} \\
 a &= 23.84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 759.88 \text{ mm}^2 \times 400 \times \left(587 - \frac{23.84}{2}\right) \\
 &= 174796811.5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

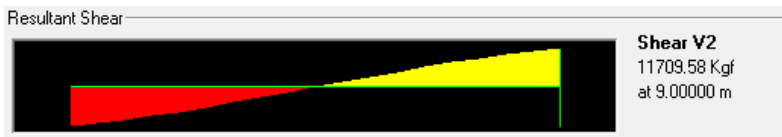
Pembagian Geser Balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang. **SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3**
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 tumpuan sampai ke tengah bentang balok.



Pada wilayah 1 dan 3 (Daerah tumpuan)

Berdasarkan hasil output diagram gaya geser akibat kombinasi 1.2D+0.2Sds+1L-1Ex-0.3Ey dari analisa SAP 2000, didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 117095.8 \text{ N}$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.21.3

$$V_{u1} = \frac{254043439.2 + 174796811.5}{8500 \text{ mm}} + 117095.8 \text{ N}$$

$$= 167547.59 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3$$

$$\sqrt{30} < 8.3$$

$$5.477225575 < 8.3$$

(Memenuhi)

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{30} \times 500 \times 587 \\ &= 273286.17 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times b \times d$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0.33 \times 500 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 96855 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0.33 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 530496.68 \text{ N} \end{aligned}$$

$$2V_{s \text{ max}} = 0.66 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s \text{ max}} &= 0.66 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 1060993.37 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

$$167547.59 \text{ N} > 102482.31 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 $0.5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$102482.31 \text{ N} < 167547.59 \text{ N} < 204964.63 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 2.**

Direncanakan menggunakan tulangan geser jarak 50 mm, maka luasan tulangan geser yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= \frac{b \times s}{3 \times f_y} \\ &= \frac{500 \times 50}{3 \times 240} \\ &= 34.74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gabungan Antara geser lentur dan momen puntir membutuhkan sengkang tertutup dengan luasan penampang total:

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} + 2A_t &= 34.74 + (2 \times 1.46 \times 50 \text{ mm}) \\ &= 180.84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser diameter 12 mm jarak 50 mm dengan 2 kaki, maka luasan geser :

$$\begin{aligned} A_v \text{ pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 1/4 \times 3.14 \times (12 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 226.1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat: $A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu}$

$$226.1 \text{ mm}^2 > 180.84 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan dengan jarak Ø12 jarak 50 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan Kondisi 2

$$S_{\text{max}} < d/2$$

$$50 \text{ mm} \leq 587 \text{ mm}/2$$

$$50 \text{ mm} < 293.5 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser jarak Ø12 jarak 50 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

Spakai $< d/4$

50 mm $< 587 \text{ mm}/4$

50 mm $< 146.75 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Spakai $< 8 \text{ } \emptyset \text{ lentur}$

50 mm $< 8 \times 22 \text{ mm}$

50 mm $< 176 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Spakai $< 24 \text{ } \emptyset \text{ sengkang}$

50 mm $< 24 \times 12 \text{ mm}$

50 mm $< 288 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Spakai $< 300 \text{ mm}$

50 mm $< 300 \text{ mm}$

50 mm $< 300 \text{ mm}$

(Memenuhi)

Jadi penulangan geser balok BI (450/650) pada wilayah 1 dan 3 Daerah tumpuan dipasang $\emptyset 12$ -50 mm dengan sengkang 2 kaki.

DAERAH LAPANGAN

Dengan data balok sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_1 = 191793700 \text{ N}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{191793700 \text{ N} \times (\frac{1}{2} \times 8500 \text{ mm} - 2 \times 650 \text{ mm})}{\frac{1}{2} \times 8500 \text{ mm}}$$

$$Vu_2 = 81278.26 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$5.4772255 \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \text{ SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30} \times 500 \times 587$$

$$= 273286.17 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times b \times d$$

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times 500 \text{ mm} \times 587 \text{ mm}$$

$$= 96855 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \text{ SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33 \times \sqrt{30} \times \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 587 \text{ mm}$$

$$= 530496.68 \text{ N}$$

$$2V_s \max = 0.66 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} 2V_s \max &= 0.66 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 587 \text{ mm} \\ &= 1060993.37 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

$$81278.26 \text{ N} < 102482.31 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 1**

Secara teoretik tidak memerlukan tulangan geser, baik dari keperluan geser lentur maupun puntir, penampang tidak membutuhkan tulangan geser.

Maka, dipakai sengkang tertutup praktis $\emptyset 12$ -100 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari **d/2** sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

$$\text{Spakai} < d/4$$

$$100 \text{ mm} < 587 \text{ mm}/4$$

100 mm < 146.75mm **(Memenuhi)**

Spakai < 8 Ø lentur

100 mm < 8 x 22 mm

100 mm < 176 mm **(Memenuhi)**

Spakai < 24 Ø sengkang

100 mm < 24 x 12 mm

100 mm < 288 mm **(Memenuhi)**

Spakai < 300mm

100 mm < 300mm

100 mm < 300mm **(Memenuhi)**

Jadi penulangan geser balok BI (450/650) pada wilayah 2 Daerah lapangan dipasang Ø12-100 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.3.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

➤ Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut:

| | Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil | Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar |
|---|---|---|
| Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b | $\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |
| Kasus-kasus lain | $\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |

Dimana:

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

Ψ_t = faktor lokasi penulangan

Ψ_e = faktor pelapis

| Ψ_t faktor lokasi penulangan | |
|---|-----|
| Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau | 1.3 |
| Tulangan lain | 1.0 |

| Ψ_e faktor pelapis | |
|---|-----|
| Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$ | 1.5 |
| Batang atau kawat tulangan epoksi lainnya | 1.2 |
| Tulangan tanpa pelapis | 1.0 |

λ = faktor beton agregat ringan
= 1 (beton normal)

Perhitungan

$$l_d = \left[\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$$

$$l_d = \left[\frac{400 \times 1 \times 1.5}{1.7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right]^{22}$$

$$= 1417.63 \text{ mm}$$

Syarat: $l_d > 300 \text{ mm}$

$1417.63 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

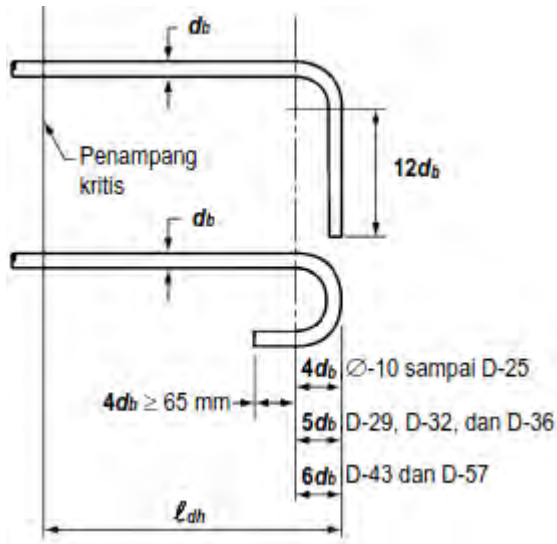
Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 1250 mm

➤ **Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**.

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir l_d harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / db$ dengan ψ_e diambil sebesar 1.2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0.75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1.0.



$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$385.6 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1
(Memenuhi)

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik adalah 400 mm.

Panjang kait:

$$12 \times d_b = 12 (22 \text{ mm}) = 264 \text{ mm}$$

➤ **Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan**

Penyaluran tulangan dalam dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

Panjang penyaluran tulangan alam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 22 = 385.6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{dc} &= (0.043 f_y) d_b \\ &= (0,043 \times 400) \times 22 = 378.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dc} > 200 \text{ mm}$$

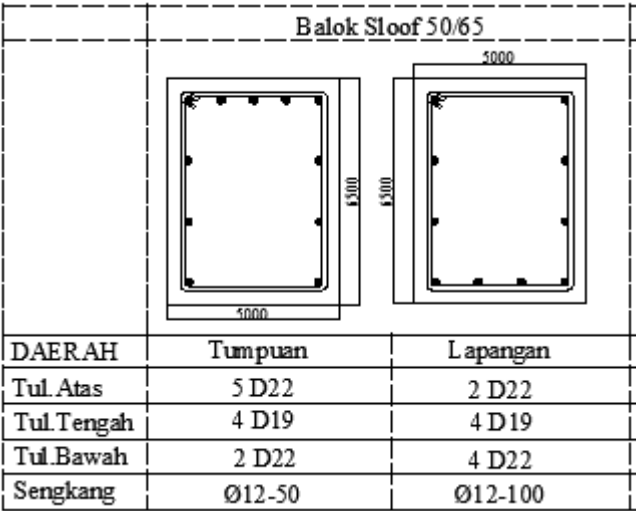
$$385.6 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1
(Memenuhi)

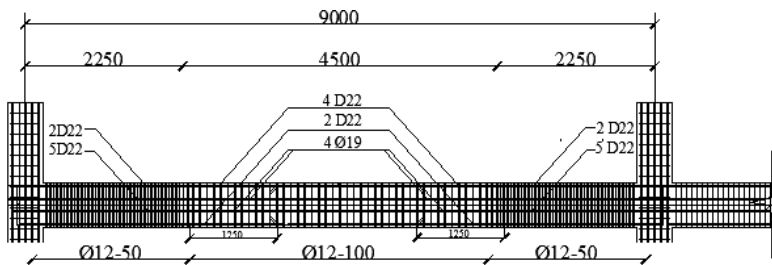
Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan adalah 400 mm.

Panjang kait:

$$4 d_b + 4 d_b = 4 (22 \text{ mm}) + 4 (22 \text{ mm}) = 176 \text{ mm}$$



Gambar 4. 32 Penulangan Sloof



Gambar 4. 33 Detail Penulangan Sloof

4.5.4 Perhitungan Balok Bordes

a. Data Perencanaan

Perhitungan tulangan Balok Bordes (35/50) As D (5-5") elevasi ± 6.00 . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

Data-data perencanaan tulangan balok:

| | |
|--|--------------|
| Tipe balok | : BA 350/500 |
| Bentang balok | : 1575 mm |
| Dimensi balok (b balok) | : 350 mm |
| Dimensi balok (h balok) | : 500 mm |
| Bentang kolom (L kolom) | : 4000 mm |
| Dimensi kolom (h kolom) | : 500 mm |
| Dimensi kolom (b kolom) | : 500 mm |
| Kuat tekan beton (f_c') | : 30 Mpa |
| Kuat leleh tulangan lentur (f_y) | : 400 Mpa |
| Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) | : 240 Mpa |
| Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) | : 400 Mpa |
| Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur) | : 19 mm |
| Diameter tulangan geser (\emptyset geser) | : 12 mm |
| Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) | : 13 mm |
| Cot θ^2 | : 1 |
| Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1) | |
| Jarak spasi tulangan antar lapis | : 25 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2) | |
| Tebal selimut beton (t decking) | : 40 mm |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1) | |
| Faktor β_1 | : 0.85 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.7.3) | |
| Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) | : 0.9 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1) | |
| Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) | : 0.75 |

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

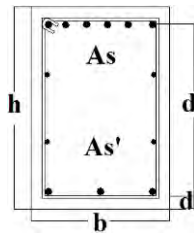
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0.75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

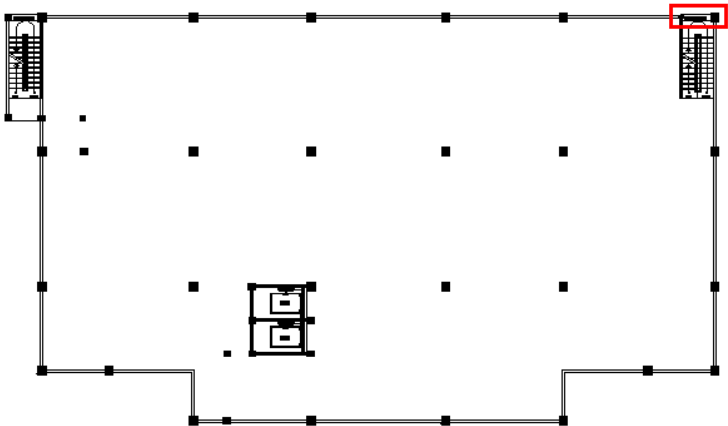
Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - 1/2 \text{ Øtul.lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - 1/2 \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 438.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \text{Ø sengkang} + 1/2 \text{ Øtul.lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + 1/2 \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 61.5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar : Tinggi efektif balok



Gambar 4. 34 Denah Balok yang Ditinjau

b. Hasil Output dan Diagram Gaya dalam dari Analisa SAP 2000 :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulanganbalok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

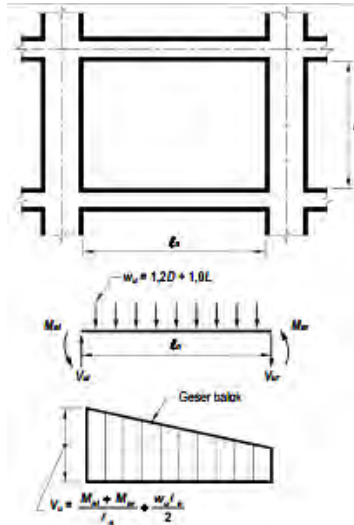
Kombinasi Beban Non Gempa :

- Pembebanan akibat beban mati
= 1,4 DL
- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.
= 1,2 DL + 1,6 LL
- Pembebanan akibat beban mati, beban hidup dan beban angin.
= 1,2 DL + 1,6 LL + 0,8 W
- Pembebanan akibat beban mati dan beban angin.
= 0,9 DL + 1,0 W

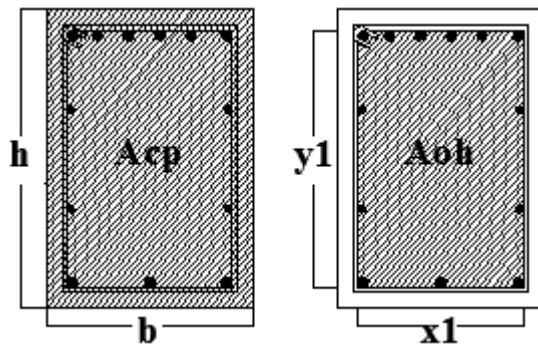
Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.
= 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQX + 0,3 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y
= 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQX + 1,0 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.
= 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQX - 0,3 EQY
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y
= 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQX - 1,0 EQY

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).



Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar : Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 175000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton Pcp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang Aoh

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \\ &= 105264 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

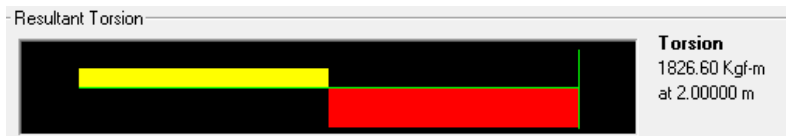
Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \cdot ((b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - 12 \text{ mm}) \\ &= 1332 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.5.4.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari SAP 2000, diperoleh momen puntir :

Akibat kombinasi 1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey



Momen puntir ultimate :

$$T_u = 1826.6 \text{ Kgm} = 18266000 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{\text{Momen Puntir Nominal}}{\phi} = \frac{T_u \quad 18266000 \text{ Nmm}}{0,75} \\ = 24354666.67 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

Akibat kombinasi $1.2D+0.2SDs+1.6L-1Ex-0.3Ey$

$$V_u = 121697.2 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$T_u \text{ min} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1(a)}$$

$$T_u \text{ min} = \phi 0.083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{175000^2}{1700} \right) \\ = 6142245.3 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 (a)}$$

$$T_u \text{ max} = 0.33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{175000^2}{1700} \right) \\ = 24420975.4 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{\text{min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{\text{min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{\text{min}} < T_u$

$6142245.3 \text{ Nmm} < 10404200 \text{ Nmm} \rightarrow$ (**Memerlukan tulangan puntir**)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66\sqrt{f_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{121697,2}{350 \times 438,5}\right)^2 + \left(\frac{18266000 \times 1332}{1,7 \times 105264^2}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left(\frac{0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 438,5}{350 \times 438,5} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

0,793 < 3,41 (**Memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} Ph \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang = 45°

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 105264 \text{ mm}^2 \\ &= 89474,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{24354666.67 \text{ Nmm}}{2 \times 89474.4 \times 240 \times \cot 45^\circ} \\ &= 0.57 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l \text{ perlu} = \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{F_{yv}}{F_{yt}} \right) \cot^2 \phi$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ perlu} &= 0.57 \times 1332 \times \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 453.21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42\sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{F_{yv}}{F_{yt}} \\ A_l \text{ min} &= \frac{0,42\sqrt{30} \times 175000}{400} - (0.57) \times 1332 \times \frac{240}{400} \\ &= 553.23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \leq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ min}$

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$ maka gunakan $A_l \text{ perlu}$

$453.21 \text{ mm}^2 \leq 553.23 \text{ mm}^2$ (**Maka menggunakan $A_l \text{ min}$**)

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar 553.23 mm^2

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{553.23}{4} = 138.31 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir 138.31 mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 138.31 = 276.62 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

As perlu

$$n = \frac{\text{Luasan tulangan puntir}}{276.62}$$

$$n = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$= 2,1 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4D13

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

As = n x luasan tulangan puntir

$$= 4 \times 0,25 \pi (13 \text{ mm})^2$$

$$= 530.66 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang \geq As perlu

$$530.66 \text{ mm}^2 \geq 276.62 \text{ mm}^2 \quad \text{(Memenuhi)}$$

4.5.4.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KANAN

Resultant Moment



Moment M3

18767.38 Kgf-m

at 2.00000 m

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi

$$\mathbf{1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey}$$

Mu tumpuan : 187673800 Nmm

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{\phi \cdot \mu_{\text{tumpuan}}}{0.9}$$

$$M_n = \frac{187673800 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 208526444.4 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 438.5$$

$$X_b = 263.1 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\text{max}} = 0,75 X_b$$

$$= 0,75 \times 263.1 \text{ mm}$$

$$= 197.33 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 61.5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 0.5 \times X_b$$

$$= 0.5 \times 263.1 \text{ mm}$$

$$= 131.5 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 131.55$$

$$= 997971.19 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{C c'}{F_y}$$

$$A_{sc} = \frac{997971.19 \text{ N}}{400}$$

$$A_{sc} = 2494.93 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 2494.93 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(438.5 - \frac{0.85 \times 131.55 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 381815044.1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 208526444.4 \text{ Nmm} - 381815044.1 \text{ Nmm} \\ &= -173288600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -173288600 \text{ Nmm} \leq 0$ (**Tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_{c'}}$$

$$m = \frac{400}{0.85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} = \frac{187673800 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 208526444.4 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{208526444.4}{350 \times 438.5^2}$$

$$= 3.1$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 3.1}{400}} \right]$$

$$= 0.0083$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0.0083 < 0.02438 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.0083 \times 350 \times 438.5$$

$$= 1271.48 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As_{\text{perlu}} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As_{\text{perlu}} = 1271.48 \text{ mm}^2 + \frac{553.23 \text{ mm}^2}{4}$$

$$As_{\text{perlu}} = 1409.79 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}}$$

$$n = \frac{1409.79 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19 \text{ mm}^2}$$

$$n = 4.97 \approx 5$$

$$n = 4.97 \approx 5$$

Dipasang tulangan lentur 5 D19

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$= 1416.93 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

As pasang > As perlu

$$1416.93 \text{ mm}^2 > 1409.79 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\text{As perlu} = 0.3 \times \text{As} + \frac{A_l}{4}$$

$$\text{As perlu} = 0.3 \times 0 + \frac{553.23 \text{ mm}^2}{4}$$

$$\text{As perlu} = 138.31 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{138.31 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19 \text{ mm}^2}$$

$$= 0.49 \text{ buah} \approx 2$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\text{As pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$= 566.77 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$566.77 \text{ mm}^2 > 138.31 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$= 37.75 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S$ syarat agregat

$$37.75 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 208 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S$ syarat agregat

$$208 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok Anak 350/500 untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang

tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut. M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3 \times M$ lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1416.93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1416.93 \text{ mm}^2$$

$$566.77 \text{ mm}^2 \geq 472.31 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan, dipasang tulangan:

$$\text{Tulangan tarik} = 5 \text{ D19}$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2 \text{ D19}$$

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \left(\frac{(As - As') \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1416.93 - 566.77) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 38.1 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$C_c' = 0.85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 61.5 \text{ mm}$$

$$= 340062 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' \text{ pasang} \times f_y \\
 &= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 226708 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + Cs' \times (d - d') \\
 &= 340062 \left(438.5 - \frac{38.1}{2}\right) + 226708(438.5 - 61.5) \\
 &= 228107550.4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka: $Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$
 $228107550.4 \text{ Nmm} > 208526444.4 \text{ Nmm}$ (**Memenuhi**)

Jadi, penulangan lentur untuk Balok Bordes (35/50) As D (5-5") elevasi ± 6.00 . Pada daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 5 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 5 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D19

DAERAH TUMPUAN KIRI



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi
1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey
 $Mu \text{ tumpuan} : 22343000 \text{ Nmm}$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{22343000 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 24825555.56 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 438.5$$

$$X_b = 263.1 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$X_{\max} = 0.75 X_b$$

$$= 0.75 \times 263.1 \text{ mm}$$

$$= 197.33 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 61.5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 0.5 \times X_b$$

$$= 0.5 \times 263.1 \text{ mm}$$

$$= 131.5 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0.85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0.85 \times 30 \times 350 \times 0.85 \times 131.55$$

$$= 997971.19 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$A_{sc} = \frac{997971.19 \text{ N}}{400}$$

$$A_{sc} = 2494.93 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 2494.93 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(438.5 - \frac{0.85 \times 131.55 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 381815044.1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 24825555.56 \text{ Nmm} - 381815044.1 \text{ Nmm} \\ &= -356989488.5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -356989488.5 \text{ Nmm} \leq 0$ (Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{F_y}{0.85 f_c'} \\ m &= \frac{400}{0.85 \times 300} = 15.68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1.4}{F_y} \\ \rho_{\min} &= \frac{1.4}{400} = 0.0035 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} = \frac{22343000 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 24825555.56 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{24825555.56 \text{ Nmm}}{350 \times 438.5^2}$$

$$= 0.37$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 0.37}{400}} \right]$$

$$= 0.00093$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 > 0.00093 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Diperbesar } 30\% = 1.3 \times 0.000999 = 0.0031$$

$$0,0035 > 0.0021 < 0.02438 \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka menggunakan } \rho_{min} = 0.0035$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0.0035 \times 350 \times 438.5 \\ &= 537.16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_{s \text{ perlu}} &= 537.16 \text{ mm}^2 + \frac{553.23 \text{ mm}^2}{4} \\ A_{s \text{ perlu}} &= 675.47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} \\ n &= \frac{675.47 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$n = 2.38 \text{ buah} \approx 5$$

Dipasang tulangan lentur 5 D19 (mengikuti As terbesar tumpuan kanan)

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0.25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1416.93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &> A_{s \text{ perlu}} \\ 1416.93 \text{ mm}^2 &> 675.47 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI **03-2847-2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 As' \text{ perlu} &= 0.3 \times As + \frac{Al}{4} \\
 As' \text{ perlu} &= 0.3 \times 0 + \frac{553.23 \text{ mm}^2}{4} \\
 As' \text{ perlu} &= 138.31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\
 n &= \frac{138.31 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2} \\
 &= 0.49 \text{ buah} \approx 2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0.25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 566.77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$

$$566.77 \text{ mm}^2 > 138.31 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$= 37.75 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$37.75 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 212 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$208 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Maka dipakai tulangan lentur balok Anak 350/500 untuk daerah tumpuan:

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 5 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1416.93 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 566.77 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1416.93 \text{ mm}^2 \\ 566.77 \text{ mm}^2 &\geq 472.31 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}\end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan, dipasang tulangan:

$$\text{Tulangan tarik} = 5 \text{ D19}$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2 \text{ D19}$$

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$\begin{aligned}a &= \left(\frac{(\text{As} - \text{As}') \cdot f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ a &= \left(\frac{(1416.93 - 566.77) \cdot 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\ a &= 38.1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned}C_c' &= 0.85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 38.1 \text{ mm} \\ &= 340062 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= \text{As' pasang} \times f_y \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \\ &= 226708 \text{ N}\end{aligned}$$

$$M_n \text{ pasang} = C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d')$$

$$= 340062 \left(438.5 - \frac{38.1}{2} \right) + 226708(438.5 - 61.5)$$

$$= 228107550.4 \text{ Nmm}$$

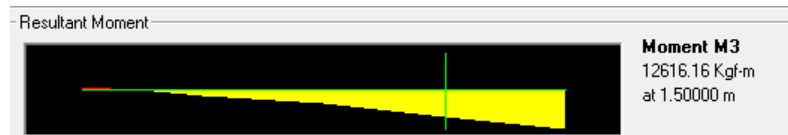
Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$228107550.4 \text{ Nmm} > 24825555.56 \text{ Nmm}$ **(Memenuhi)**

Jadi, penulangan lentur Balok Bordes (35/50) As D (5-5'') elevasi ± 6.00 . Pada daerah tumpuan dipakai tulangan tarik 5D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 5 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D19

DAERAH LAPANGAN



Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi **1.2D+0.2SDs+1L-1Ex-0.3Ey**
 $M_u \text{ tumpuan} : 126161600 \text{ Nmm}$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{126161600 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$= 140179555.6 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 438.5$$

$$X_b = 263.1 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 X_b \\ &= 0,75 \times 263.1 \text{ mm} \\ &= 197.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 61.5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$\begin{aligned} X_{\text{rencana}} &= 0.5 \times X_b \\ &= 0.5 \times 263.1 \text{ mm} \\ &= 131.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 0,85 \times 131.55 \\ &= 997971.19 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c'}{F_y} \\ A_{sc} &= \frac{997971.19 \text{ N}}{400} \\ A_{sc} &= 2494.93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 2494.93 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ MPa} \times \left(438.5 - \frac{0.85 \times 131.55 \text{ mm}}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 381815044.1 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 140179555.6 \text{ Nmm} - 381815044.1 \text{ Nmm} \\ &= -241635488.5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -241635488.5 \text{ Nmm} \leq 0$ (**Tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

❖ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 300} = 15.68$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0.85}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = 0.032513$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.032513$$

$$= 0.02438$$

$$M_n = \frac{\text{Mu lapangan}}{\phi} = \frac{126161600 \text{ Nmm}}{0.9} \\ = 140179555.6 \text{ Nmm}$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 49 pers.3.8.4b)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{140179555.6 \text{ Nmm}}{350 \times 438.5^2} \\ = 2.1$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 55 pers.3.8.5)

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ \rho = \frac{1}{15.686} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.686 \times 2.1}{400}} \right] \\ = 0.0054$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0.0035 < 0.0054 < 0.02438 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \\ = 0.0054 \times 350 \times 438.5 \\ = 834.81 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As \text{ perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 834.81 \text{ mm}^2 + \frac{553.23 \text{ mm}^2}{4}$$

$$As \text{ perlu} = 973.12 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan punter (sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{973.12 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2}$$

$$n = 3.45 \text{ buah} \approx 4$$

Dipasang tulangan lentur 4 D19

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1133.54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$

$$1133.54 \text{ mm}^2 > 973.12 \text{ mm}^2$$

(Memenuhi)

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut **SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1** luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$As' \text{ perlu} = 0.3 \times As + \frac{Al}{4}$$

$$As' \text{ perlu} = 0.3 \times 0 + \frac{553.23 \text{ mm}^2}{4}$$

$$As' \text{ perlu} = 138.31 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2}$$

$$= 0.49 \text{ buah} \approx 2$$

Dipasang tulangan lentur 2 D19

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$566.77 \text{ mm}^2 > 138.31 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$\text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

- Kontrol tulangan tarik

$$\text{Smax} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$\text{Smax} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 28 \text{ mm}$$

Syarat: $\text{Smaks} \geq \text{Ssyarat agregat}$

$$28 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 208 \text{ mm}$$

Syarat: $S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

208 mm > 25 mm

(Memenuhi)

Maka dipakai tulangan lentur balok bores 350/500 untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis
Lapis 1 = 4 D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis
Lapis 1 = 2 D19

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 1133.54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 566.77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\
 566.77 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1133.54 \text{ mm}^2 \\
 566.77 \text{ mm}^2 &\geq 377.85 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik = 3 D19

Tulangan tekan = 2 D19

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{(A_s - A_s') \cdot F_y}{0.85 \times f_c' \times b} \right) \\
 a &= \left(\frac{(1133.54 - 566.77) \cdot 400}{0.85 \times 30 \times 350} \right) \\
 a &= 25.4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0.85 \times f_c' \times b \times a \\
 &= 0.85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 25.4 \text{ mm} \\
 &= 226708 \text{ N} \\
 C_s' &= A_s' \text{ pasang} \times f_y \\
 &= 566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 226708 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d') \\
 &= 226708 \left(438.5 - \frac{25.4}{2} \right) + 226708 (438.5 - 61.5) \\
 &= 182001017.3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka: $M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$182001017.3 \text{ Nmm} > 140179555.6 \text{ Nmm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk Balok Bordes (35/50) As D (5-5") elevasi ± 6.00 . Pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 4 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 2 D19

4.5.4.3 Perhitungan Penulangan Geser

DAERAH TUMPUAN

Momen Nominal Kanan :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As tulangan tarik} = 1416.93 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan tekan} = 566.77 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{\left(1416.93 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm}}$$

$$a = 63.5 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = \text{As} \cdot f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= 1416.93 \text{ mm}^2 \cdot 400 \times \left(438.5 - \frac{63.5}{2} \right) \\ &= 230532665.6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kiri :

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As tulangan tarik} = 1416.93 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan tekan} = 566.77 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{\left(566.77 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{0.85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm}}$$

$$a = 25.4 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

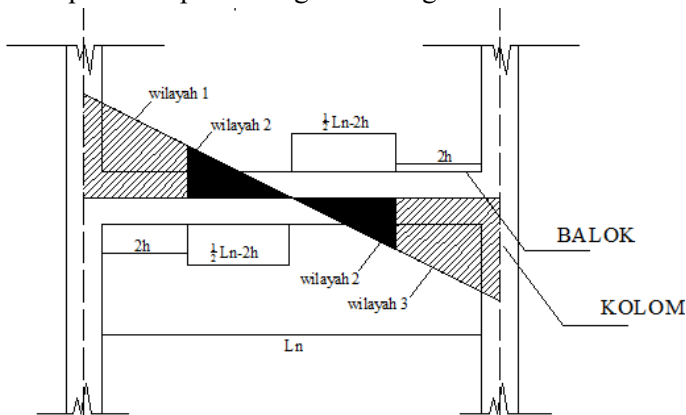
$$M_n \text{ pasang} = 566.77 \text{ mm}^2 \cdot 400 \times \left(438.5 - \frac{25.4}{2} \right)$$

$$= 96532101.29 \text{ Nmm}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Pembagian Geser Balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang. **SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3**
2. Wilayah 2 (daerah lapangan) dimulai dari wilayah 1 atau 3 tumpuan sampai ke tengah bentang balok.



Pada wilayah 1 dan 3 (Daerah tumpuan)

Berdasarkan hasil output diagram gaya geser akibat kombinasi 1.2D+1.6L+0.5R/Lr dari analisa SAP 2000, didapatkan :



Gaya geser terfaktor $V_u = 121697.2 \text{ N}$

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.21.3

$$V_{u1} = \frac{230532665.6 + 96532101.29}{1575 \text{ mm}} + 121697.2$$

$$= 329357.37 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3$$

$$\sqrt{30} < 8.3$$

$$5.477225575 < 8.3$$

(Memenuhi)

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 438.5$$

$$= 142904.92 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times b \times d$$

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times 350 \text{ mm} \times 438.5 \text{ mm}$$

$$= 50646.75 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$V_s \max = 0.33\sqrt{30} \frac{N}{\text{mm}^2} \times 350\text{mm} \times 438.5\text{mm}$$

$$= 277403.67 \text{ N}$$

$$2V_s \max = 0.66\sqrt{f_c'} \times b_w \times d \text{ SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9}$$

$$2V_s \max = 0.66\sqrt{30} \frac{N}{\text{mm}^2} \times 350\text{mm} \times 438.5 \text{ mm}$$

$$= 554807.35 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

$$329357.37 \text{ N} > 53589.35 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 $0.5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$53589.35 \text{ N} < 329357.37 \text{ N} > 107178.692 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 $\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_s \text{ min})$ (Tulangan geser minimum)

$$107178.692 \text{ N} < 329357.37 \text{ N} > 145163.76 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 $\phi(V_c + V_s \text{ min}) < V_u < \phi(V_c + V_s \text{ maks})$

(Tulangan geser minimum)

$$145163.76 \text{ N} < 329357.37 \text{ N} > 317332.9 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 $\phi(V_c + V_s \text{ maks}) < V_u < \phi(V_c + 2V_s \text{ maks})$

(Tulangan geser minimum)

$$317332.9 \text{ N} < 329357.37 \text{ N} < 527487.29 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 5.**

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{329357.37 - (0.75 \times 142904.92)}{0.75}$$

$$= 296238.24 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser jarak 50 mm, maka luasan tulangan geser yang dibutuhkan adalah:

$$A_v \text{ perlu} = \frac{S \text{ rencana} \times V_s \text{ perlu}}{f_{yv} \times d}$$

$$A_v \text{ perlu} = \frac{100 \times 296238.24}{240 \times 438.5}$$

$$= 140.74 \text{ mm}^2$$

Gabungan Antara geser lentur dan momen puntir membutuhkan sengkang tertutup dengan luasan penampang total:

$$A_v \text{ perlu} + 2A_t = 140.74 + (2 \times 0.57 \times 50 \text{ mm})$$

$$= 197.45 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser diameter 12 mm jarak 50 mm dengan 2 kaki, maka luasan geser :

$$A_v \text{ pakai} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 1/4 \times 3.14 \times (12 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 226.08 \text{ mm}^2$$

Syarat: $A_v \text{ pakai} \geq A_v \text{ perlu}$

$$226.08 \text{ mm}^2 > 197.45 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan dengan jarak Ø12 jarak 50 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan Kondisi 5

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$50 \text{ mm} \leq 438.5 \text{ mm}/2$$

$$50 \text{ mm} < 219.25 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser jarak $\emptyset 12$ jarak 50 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

$$Spakai < d/4$$

$$50 \text{ mm} < 438.5/4$$

$$50 \text{ mm} < 109.625 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

$$Spakai < 8 \emptyset \text{ lentur}$$

$$50 \text{ mm} < 8 \times 19 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

$$Spakai < 24 \emptyset \text{ sengkang}$$

$$50 \text{ mm} < 24 \times 12 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 288 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

$$Spakai < 300 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Jadi penulangan geser balok Balok Bordes (350/500) pada wilayah 1 dan 3 Daerah tumpuan dipasang Ø12-50 mm dengan sengkang 2 kaki.

DAERAH LAPANGAN

Dengan data balok sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_1 = 121697.2 \text{ N}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{121697.2 \text{ N} \times (\frac{1}{2} \times 1575 \text{ mm} - 2 \times 500 \text{ mm})}{\frac{1}{2} \times 1575 \text{ mm}}$$

$$Vu_2 = 32838.93 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 8.3

$$\sqrt{f_c'} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa}$$

$$5.4772255 \text{ MPa} < 8.3 \text{ MPa} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \text{ SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 438.5 \\ &= 142904.92 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times b \times d$$

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times 350 \text{ mm} \times 438.5 \text{ mm}$$

$$= 50646.75 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33\sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.3}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33\sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm} \times 438.5 \text{ mm}$$

$$= 277403.67 \text{ N}$$

$$2V_s \text{ max} = 0.66 \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$2V_s \text{ max} = 0.66 \sqrt{30} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 350 \text{ mm} \times 438.5 \text{ mm}$$

$$= 554807.35 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1 $V_u < 0.5 \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)
 $32838 \text{ N} < 53589.35 \text{ N}$ **(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 1**

Secara teoretik tidak memerlukan tulangan geser, baik dari keperluan geser lentur maupun puntir, penampang tidak membutuhkan tulangan geser.

Maka, dipakai sengkang tertutup praktis $\emptyset 12$ -100 mm

Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. $d/4$

- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
- d. 300 mm

Spakai < d/4

100 mm < 438.5 mm/4

100 mm < 109.625 mm

(Memenuhi)

Spakai < 8 Ø lentur

100 mm < 8 x 19 mm

100 mm < 152 mm

(Memenuhi)

Spakai < 24 Ø sengkang

100 mm < 24 x 12 mm

100 mm < 288 mm

(Memenuhi)

Spakai < 300mm

100 mm < 300mm

100 mm < 300mm

(Memenuhi)

Jadi penulangan geser balok Balok Bordes (350/500) pada wilayah 2 Daerah lapangan dipasang Ø12-100 mm dengan sengkang 2 kaki.

4.5.4.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

➤ Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2 sebagai berikut:

| | Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil | Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar |
|---|---|---|
| Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b | $\left(\frac{f_t \Psi_s \Psi_e}{2,12 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_t \Psi_s \Psi_e}{1,72 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |
| Kasus-kasus lain | $\left(\frac{f_t \Psi_s \Psi_e}{1,42 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ | $\left(\frac{f_t \Psi_s \Psi_e}{1,12 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$ |

Dimana:

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

d_b = diameter tulangan lentur yang dipakai

Ψ_t = faktor lokasi penulangan

Ψ_e = faktor pelapis

| Ψ_t faktor lokasi penulangan | |
|---|-----|
| Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau | 1.3 |
| Tulangan lain | 1.0 |

| Ψ_e faktor pelapis | |
|---|-----|
| Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$ | 1.5 |
| Batang atau kawat tulangan epoksi lainnya | 1.2 |
| Tulangan tanpa pelapis | 1.0 |

λ = faktor beton agregat ringan
 = 1 (beton normal)

Perhitungan

$$l_d = \left[\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$l_d = \left[\frac{400 \times 1 \times 1.5}{1.7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right] 19$$

$$= 1224.3 \text{ mm}$$

Syarat: $l_d > 300 \text{ mm}$
 $1224.3 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$

(Memenuhi)

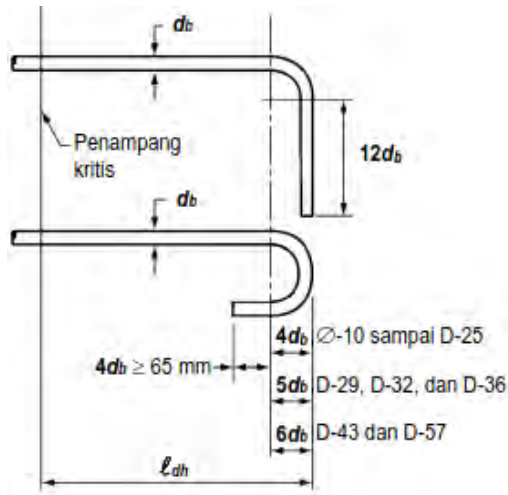
Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 1250 mm

➤ **Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**.

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir l_d harus sebesar $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1.2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0.75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1.0.



$$l_{dh} = \frac{0,24 \psi_e F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \times 19$$

$$= 333.02 \text{ mm}$$

Syarat:

$l_{dh} > 150 \text{ mm}$ SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1

$333.02 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$ (Memenuhi)

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 350 mm.

Panjang kait:

$$12 \times d_b = 12 (19 \text{ mm}) = 228 \text{ mm}$$

➤ Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

Panjang penyaluran tulangan alam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 19$$

$$= 333.02 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{dc} &= (0.043 f_y) d_b \\ &= (0,043 \times 400) \times 19 = 326.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 333.02 \text{ mm}$$

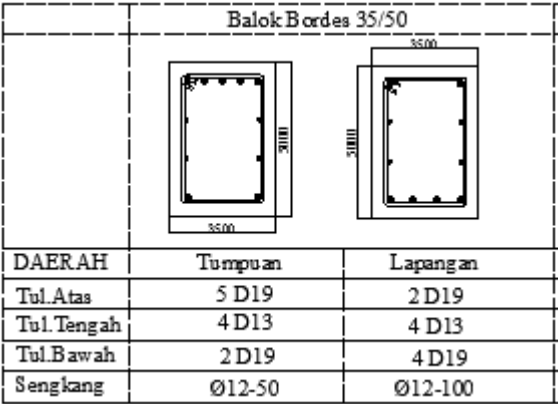
Syarat:

$$l_{dc} > 200 \text{ mm} \quad \text{SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1}$$

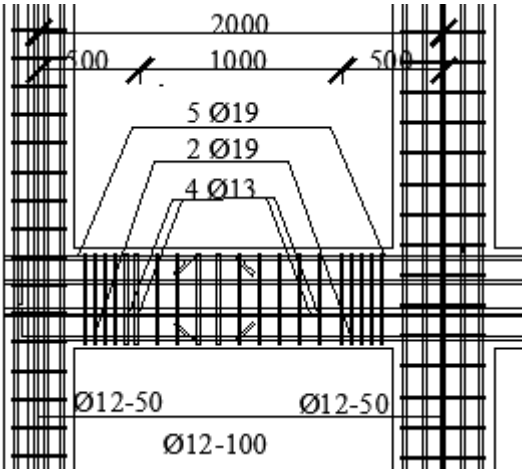
$$333.02 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Panjang kait:

$$4d_b + 4 d_b = 4 (19 \text{ mm}) + 4 (19 \text{ mm}) = 152 \text{ mm}$$



Gambar 4. 35 Penulangan Balok Bordes



Gambar 4. 36 Detail Penulangan Balok Bordes

4.6 Perhitungan Kolom

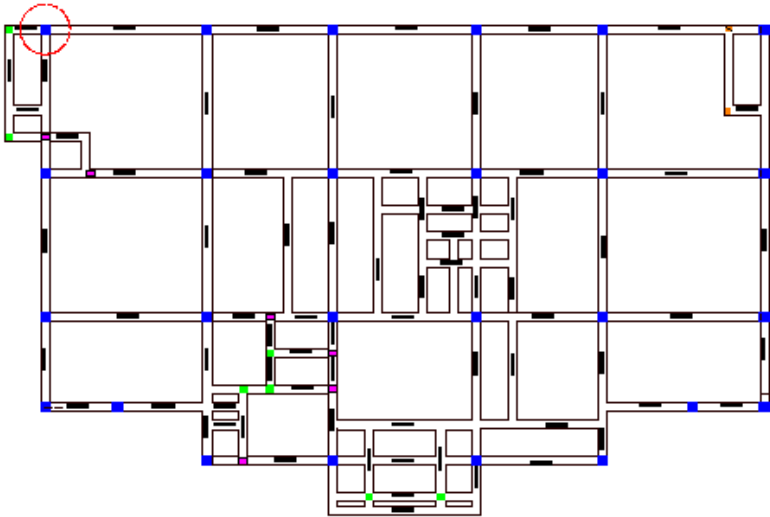
4.6.1 Perhitungan Kolom K1

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar, perhitungan diambil kolom struktur As D-1 pada lantai 1. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dengan metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut:

4.6.1.1 Perhitungan Lentur Kolom

❖ Data perencanaan kolom:

- Tipe kolom : K1
- As kolom : D-1
- Frame : 44
- Tinggi kolom atas : 4000 mm
- Tinggi kolom yang ditinjau : 4000 mm
- b kolom : 500 mm
- h kolom : 500 mm
- kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Modulus elastisitas beton (E_c) : 25743 Mpa
- Modulus elastisitas baja (E_s) : 200000 Mpa
- Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) : 400 Mpa
- Kuat leleh tul geser (f_y geser) : 240 Mpa
- Diameter tul lentur (\emptyset lentur) : 22 mm
- Diameter tul geser (\emptyset geser) : 10 mm
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
- Jarak spasi tul sejajar (S sejajar) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3)
- Factor β_1 : 0.85
- (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))
- Factor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0.65
- (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2))

❖ **Gambar denah posisi kolom**

Gambar 4. 37 Gambar Denah Posisi Kolom K1

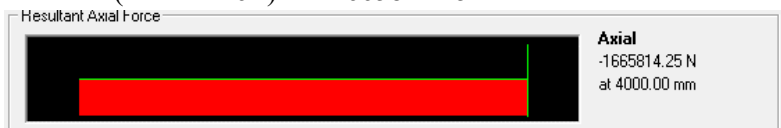
❖ **Output SAP**

1. Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 65 didapatkan gaya aksial kolom:

$$P_u (1.4D) : 1570875.38 \text{ N}$$



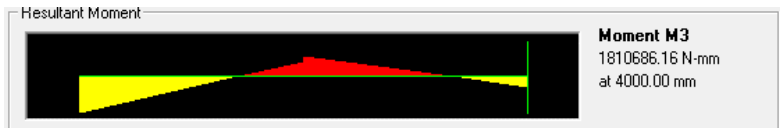
$$P_u (1.2D + 1.6L) : 1665814.25 \text{ N}$$



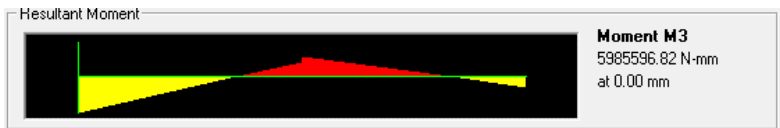
2. Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi (1,2DL + 1,6LL) :

Momen arah sumbu X

M1ns : 1810686.16 N-mm

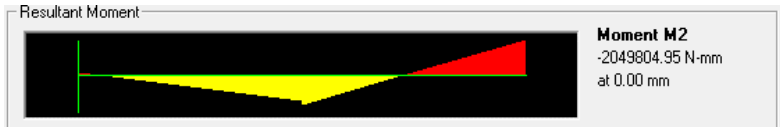


M2ns : 5985596.82 N-mm

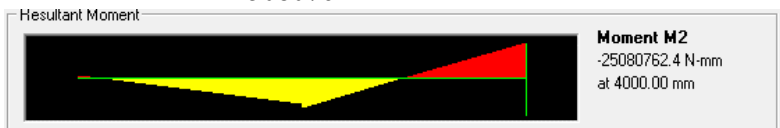


Momen arah sumbu Y

M1ns : 2049804.95 N-mm



M2ns : 25080762.4 N-mm



Momen akibat pengaruh beban gravitasi:

M1ns = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

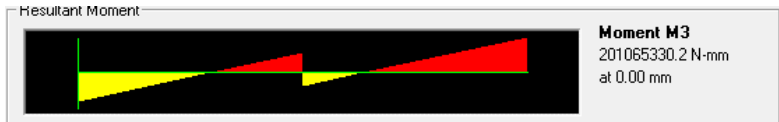
M2ns = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

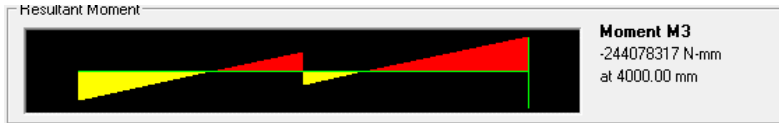
3. Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X ($-E_x - 0.3E_y$)

M1s : 201065330.2 N-mm

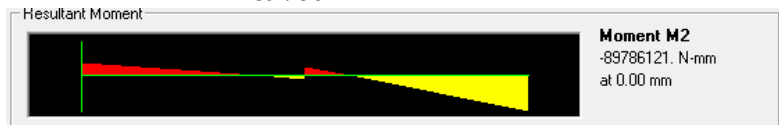


M2s : 244078317 N-mm

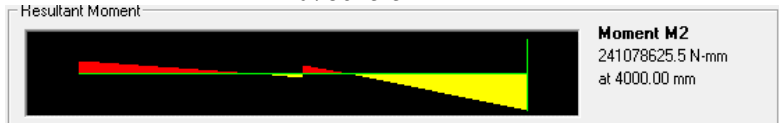


Momen arah sumbu Y ($-0.3E_x - 1E_y$)

M1s : 89786121 N-mm



M2s : 241078625.5 N-mm



Momen akibat pengaruh gaya gempa:

M1s = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm

(SNI 03-2847-2013)

M2s = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm

(SNI 03-2847-2013)

❖ **Syarat gaya aksial pada kolom**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \cdot F_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5 (Ketentuan kolom untuk SRPMM)

Syarat:

$$P_u (1.2D + 1.6L) \leq A_g \cdot F_c' / 10$$

$$1665814.25 \text{ N} \leq (500 \cdot 500 \cdot 30) / 10$$

$$1665814.25 \text{ N} > 750000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

❖ **Kontrol kelangsingan kolom**

- β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{P_u (1.4D)}{P_u (1.2D + 1.6L)}$$

$$\beta_d = \frac{1570875.38 \text{ N}}{1665814.25 \text{ N}} = 0.943$$

- Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{\sum (EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

- Untuk kolom 50/50

$$I_g = 0.7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.7 \times \frac{1}{12} \times 500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 3645833333 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 3645833333 \text{ mm}^4}{1 + 0.943}$$

$$EI_{\text{kolom}} = 1.93215 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

➤ Untuk balok memanjang 45/65

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 450 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 3604453125 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 3604453125 \text{ mm}^4}{1 + 0.943}$$

$$EI_{\text{balok}} = 1.91022 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

➤ Untuk balok melintang 35/50

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1276041667 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 1276041667 \text{ mm}^4}{1 + 0.943}$$

$$EI_{\text{balok}} = 6.76252 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- Untuk sloof memanjang dan melintang 50/65

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 500 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 4004947917 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{sloof}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{sloof}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 4004947917 \text{ mm}^4}{1 + 0.943}$$

$$EI_{\text{sloof}} = 2.12247 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k).

- Kekakuan kolom atas:

$$\psi_A = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom atas}} + \sum (EI/L)_{\text{kolom yg ditinjau}}}{\sum (EI/L)_{BB} + \sum (EI/L)_{B \text{ KIRI}} + \sum (EI/L)_{B \text{ KANAN}}}$$

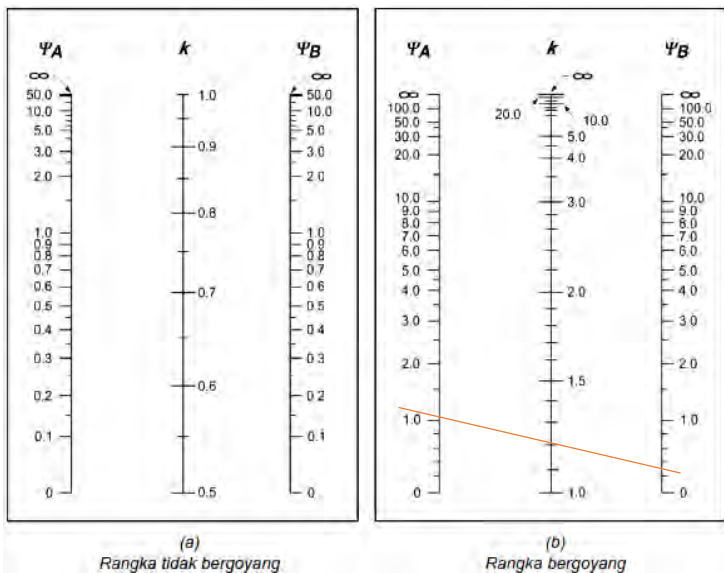
$$\psi_A = 1.112$$

- Kekakuan kolom bawah:

$$\psi_B = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom yg ditinjau}}}{\sum (EI/L)_{SB} + \sum (EI/L)_{S \text{ KIRI}} + \sum (EI/L)_{S \text{ KANAN}}}$$

$$\psi_B = 0.293$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7



Gambar 4. 38 Faktor Efektif (K)

Dari grafik aligment didapatkan $K = 1.21$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.12 radius girasi boleh diambil sebesar 0.3 dari dimensi.

$$r = 0.3 \times h$$

$$r = 0.3 \times 500 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan:

$$\frac{k \times Lu}{r} \leq 22 \quad \text{Maka pengaruh kelangsingan boleh diabaikan}$$

$$\frac{1.21 \times 4000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \leq 2232.267 > 22 \quad \text{Kolom langsing}$$

❖ **Peninjauan kolom akibat momen arah X**

Berdasarkan output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

- Akibat kombinasi gempa (-Ex - 0.3Ey):

M1s : 201065330.2 N-mm

M2s : 244078317 N-mm

Akibat kombinasi 1.2D + 1.6L:

M1ns : 1810686.16 N-mm

M2ns : 5985596.82 N-mm

- Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{kolom}}{(k \cdot Lu)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 1.93215 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2}{(1.21 \times 4000 \text{ mm})^2}$$

$$P_c = 8140476.493 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 26 \times 8140476.493 \text{ N}$$

$$\sum P_c = 26 \times 8140476.493 \text{ N} = 211652388.8 \text{ N}$$

$$P_u = 1665814.25 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$\sum P_u = 26 \times 1665814.25 \text{ N} = 43311170.5 \text{ N}$$

- Menghitung factor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{543311170.5 \text{ N}}{0.75 \times 211652388.8 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1.375 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1.375$ dalam perhitungan perbesaran momen

- Perbesaran momen portal bergoyang (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 1810686.16 \text{ Nmm} + (1.375 \times 201065330.2 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 278320151.8 \text{ N}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 5985596.82 \text{ Nmm} + (1.375 \times 244078317 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 341647468.2 \text{ N}$$

Diambil momen terbesar yaitu: **341647468.2 N**

- Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi
 Dalam menentukan ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\mu h = h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur}$$

$$= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm}$$

$$= 378 \text{ mm}$$

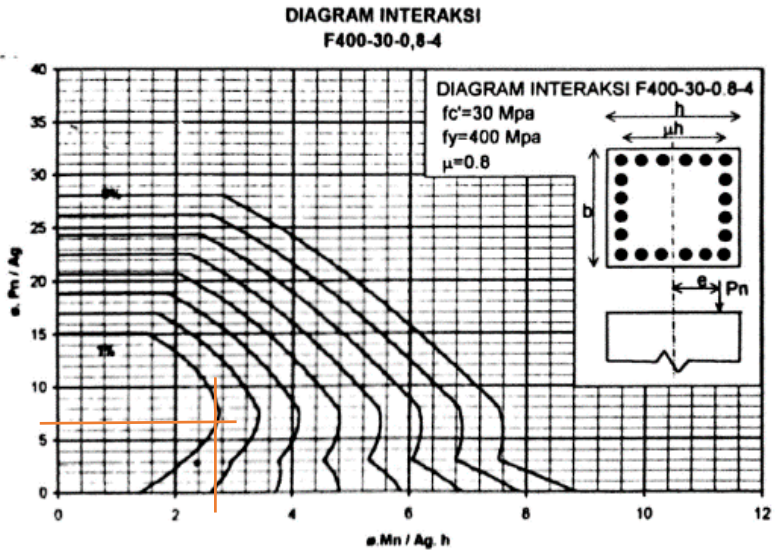
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{378 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0.756$$

Sumbu vertikal:

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{1665814.3 \text{ N}}{250000 \text{ mm}^2} = 6.66 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal:

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{341647468.2 \text{ N}}{125000000 \text{ mm}^3} = 2.73 \text{ N/mm}^2$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0.02$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0.02 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 5000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380.133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulaangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan D22}}$$

$$n = \frac{5000 \text{ mm}^2}{380.133 \text{ mm}^2} = 13.15 \approx 16 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 16 \times (1/4 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2) \\ &= 6082.12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 16-D22.

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{6082.12 \text{ mm}^2}{2500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 2.433\% < 8\% \text{ (**Memenuhi**)}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{341647468.2 \text{ Nmm}}{0.65} = 525611489.5 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{1665814.25 \text{ N}}{0.65} = 2562791.154 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{525611489.5 \text{ Nmm}}{2562791.154 \text{ N}} = 205.09 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03h) \quad \text{(**SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.5**)}$$

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03 \times 500 \text{ mm}) = 30.24 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= 0.85 Xb = 0.85 \times 263.4 \text{ mm} = 223.89 \text{ mm} \\
 Cs' &= As' (f_y - 0.85 f_c') \\
 &= 6082.12 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\
 &= 2277755.2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times F_y \\
 &= 6082.12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 2432849.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot Xb \\
 &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 500 \times 263.4 = 2854597.5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= (2854597.5 \text{ N} + 2277755.2 \text{ N}) - 2432849.4 \text{ N} \\
 &= 2699503.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Pb \times e \text{ balance} \\
 &= Cc' (d - d'' - ab/2) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 1284395719 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= Mb/Pb \\
 &= 1284395719 \text{ Nmm} / 2699503.4 \text{ N} = 475.79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

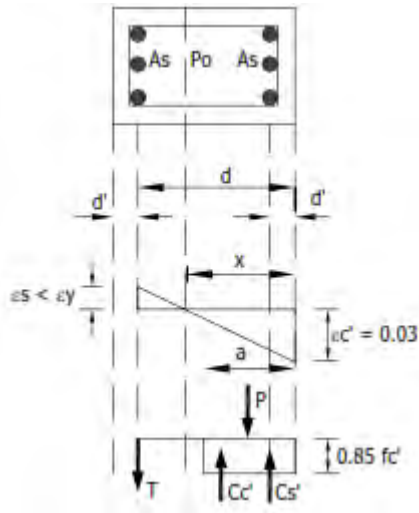
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\
 30.24 \text{ mm} &< 205.09 \text{ mm} < 475.79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kondisi Tekan Menentukan



Syarat : $e < e_b$

$$205.09 \text{ mm} < 475.79 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Mencari nilai x

$$a = 0.54 d$$

$$0.85 \cdot x = 0.54 \times 439 \text{ mm}$$

$$x = 278.9 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0.003$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{439 \text{ mm}}{278.9 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0.003 = 0.00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{439 \text{ mm}}{278.9 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 344.44 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol : } \quad \varepsilon_s &< \varepsilon_y \\
 0.00172 &< 0.002 && \textbf{(Memenuhi)} \\
 F_s &< F_y \\
 344.44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} && \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\
 &= 6082.12 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\
 &= 2277755.2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\
 &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 500 \times 278.9 = 3022515 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$T = 6082.12 \left(\frac{439 \text{ mm}}{278.9 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 2094953.6 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned}
 P &= (3022515 \text{ N} + 2277755.2 \text{ N}) - 2094953.6 \text{ N} \\
 &= 3205316.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } P &> P_b \\
 3205316.6 \text{ N} &> 2699503.4 \text{ N} && \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c' (d - d'' - a/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 1223812013 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ Terpasang} &> M_n \\
 1223812013 \text{ Nmm} &> 525611489.5 \text{ Nmm} && \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

❖ **Peninjauan kolom akibat momen arah Y**

Berdasarkan output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

- Akibat kombinasi gempa (-0.3Ex -1Ey):
 - M1s : 89786121 N-mm
 - M2s : 241078625.5 N-mm

Akibat kombinasi 1.2D + 1.6L:

$$\begin{aligned} M_{1ns} &: 2049804.95 \text{ N-mm} \\ M_{2ns} &: 25080762.4 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom:

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI_{\text{kolom}}}{(k \cdot Lu)^2} \\ P_c &= \frac{\pi^2 \times 1.93215 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2}{(1.21 \times 4000 \text{ mm})^2} \\ P_c &= 8140476.493 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_c &= n \times P_c \\ \sum P_c &= 26 \times 8140476.493 \text{ N} \\ \sum P_c &= 26 \times 8140476.493 \text{ N} = 211652388.8 \text{ N} \\ P_u &= 1665814.25 \text{ N} \\ \sum P_u &= n \times P_u \\ \sum P_u &= 26 \times 1665814.25 \text{ N} = 43311170.5 \text{ N} \end{aligned}$$

- Menghitung factor pembesaran momen (δ_s)

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1 \\ &\quad \text{(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4)} \\ \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{43311170.5 \text{ N}}{0.75 \times 211652388.8 \text{ N}}} \geq 1 \end{aligned}$$

$$\delta_s = 1.375 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1.375$ dalam perhitungan perbesaran momen

- Perbesaran momen portal bergoyang (**SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7**)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 2049804.95 \text{ Nmm} + (1.375 \times 89786121 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 125525653.9 \text{ N}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 25080762.4 \text{ Nmm} + (1.375 \times 241078625.5 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 356617392 \text{ N}$$

Diambil momen terbesar yaitu: **356617392 N**

- Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi
 Dalam menentukan ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm} \\ &= 378 \text{ mm} \end{aligned}$$

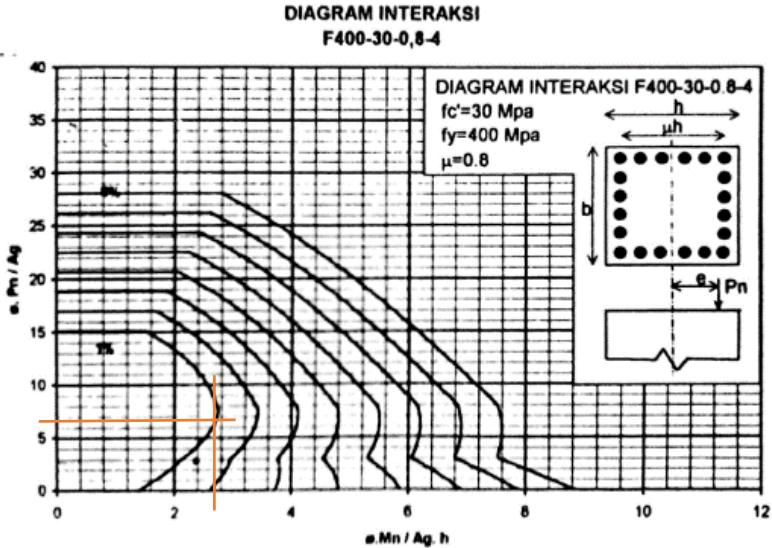
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{378 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0.756$$

Sumbu vertikal:

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{1665814.3 \text{ N}}{250000 \text{ mm}^2} = 6.66 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal:

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{356617392 \text{ N}}{125000000 \text{ mm}^3} = 2.85 \text{ N/mm}^2$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0.02$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0.02 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 5000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380.133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulaangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan D22}}$$

$$n = \frac{5000 \text{ mm}^2}{380.133 \text{ mm}^2} = 13.15 \approx 16 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 16 \times (1/4 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2) \\ &= 6082.12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah Y menggunakan tulangan sebesar 16-D22.

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{6082.12 \text{ mm}^2}{2500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 2.433\% < 8\% \text{ (**Memenuhi**)}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{356617392 \text{ Nmm}}{0.65} = 548642141.5 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{1665814.25 \text{ N}}{0.65} = 2562791.154 \text{ N}$$

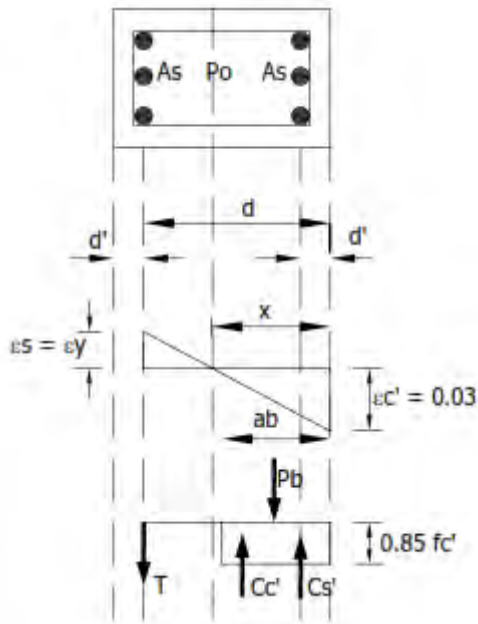
$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{548642141.5 \text{ Nmm}}{2562791.154 \text{ N}} = 214.08 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03h)$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.5)

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03 \times 500 \text{ mm}) = 30.24 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance



Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = h \text{ kolom} - (\text{decking}) - (\emptyset \text{ geser}) - (1/2 \times \emptyset \text{ lentur})$$

$$= 500 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) = 439 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + (\emptyset \text{ geser}) + (1/2 \times \emptyset \text{ lentur})$$

$$= 40 + 10 + (1/2 \times 22) = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = h \text{ kolom} - (\text{decking}) - (\emptyset \text{ geser}) - (1/2 \times \emptyset \text{ lentur}) - (1/2 \times h \text{ kolom})$$

$$= 500 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) - (1/2 \times 500)$$

$$= 189 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + 400)} \times 439 \text{ mm} = 263.4 \text{ mm}$$

$$ab = 0.85 X_b = 0.85 \times 263.4 \text{ mm} = 223.89 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\
 &= 6082.12 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\
 &= 2277755.2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times F_y \\
 &= 6082.12 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 2432849.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_b \\
 &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 500 \times 263.4 = 2854597.5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= (2854597.5 \text{ N} + 2277755.2 \text{ N}) - 2432849.4 \text{ N} \\
 &= 2699503.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e \text{ balance} \\
 &= C_c' (d - d'' - ab/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 1284395719 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 1284395719 \text{ Nmm} / 2699503.4 \text{ N} = 475.79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

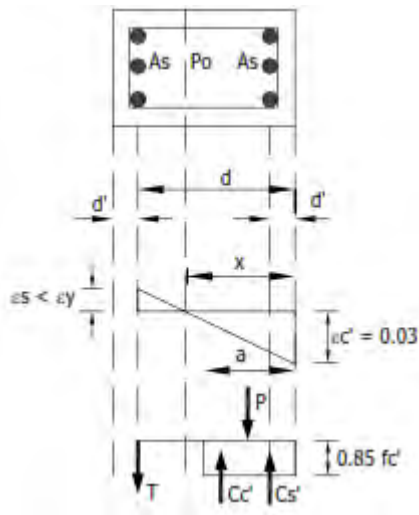
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\
 30.24 \text{ mm} &< 214.08 \text{ mm} < 475.79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kondisi Tekan Menentukan



Syarat : $e < e_b$
 $214.08 \text{ mm} < 475.79 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Mencari nilai x

$$a = 0.54 d$$

$$0.85 \cdot x = 0.54 \times 439 \text{ mm}$$

$$x = 278.9 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0.003$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{439 \text{ mm}}{278.9 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0.003 = 0.00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{439 \text{ mm}}{278.9 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 344.44 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol : } \epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0.00172 &< 0.002 && \textbf{(Memenuhi)} \\ F_s &< F_y \\ 344.44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 6082.12 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 2277755.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 500 \times 278.9 = 3022515 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$T = 6082.12 \left(\frac{439 \text{ mm}}{278.9 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 2094953.6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V = 0 \rightarrow P &= C_c' + C_s' - T \\ P &= (3022515 \text{ N} + 2277755.2 \text{ N}) - 2094953.6 \text{ N} \\ &= 3205316.6 \text{ N} \end{aligned}$$

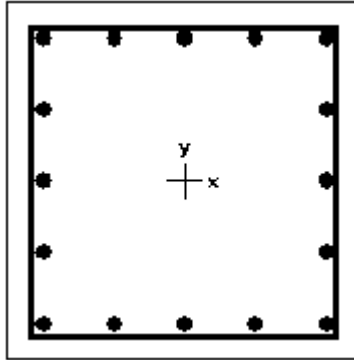
$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P &> P_b \\ 3205316.6 \text{ N} &> 2699503.4 \text{ N} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' (d - d'' - a/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 1223812013 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\begin{aligned} M_n \text{ Terpasang} &> M_n \\ 1223812013 \text{ Nmm} &> 548642141.5 \text{ Nmm} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu Y maka dipasang sebesar 16D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:



Gambar 4. 39 Penampang Kolom K1

❖ **Kontrol jarak spasi tulangan**

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar}$ → Susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar}$ → Perbesar penampang kolom

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times \phi_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1} = 72.5 \text{ mm}$$

$S_{maks} > 40 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis

❖ **Cek dengan program PCA Column**

Output terbesar mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCA Column, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut:

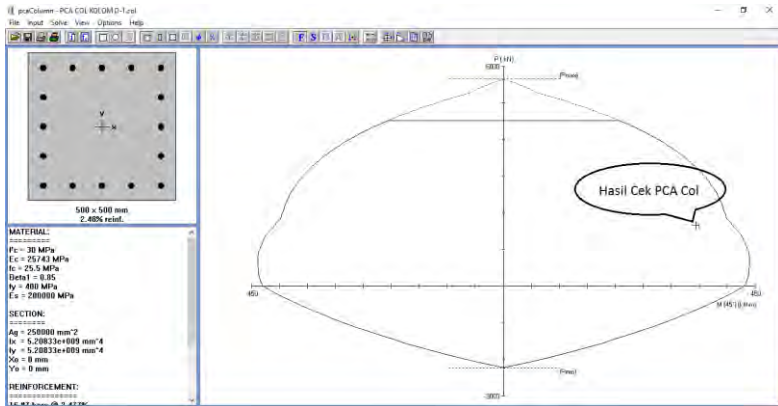
Mutu beton (f_c') = 30 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa

Modulus elastisitas = 25743 Mpa

β_1 = 0.85

b kolom = 500 mm
 h kolom = 500 mm
 Tulangan pasang = 16-D22



Gambar 4. 40 Grafik Akibat Momen pada PCA Column

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615

| Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) |
|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|
| # 3 | 10 | 71 | # 4 | 13 | 129 | # 5 | 16 | 200 |
| # 6 | 19 | 284 | # 7 | 22 | 387 | # 8 | 25 | 510 |
| # 9 | 29 | 645 | # 10 | 32 | 819 | # 11 | 36 | 1006 |
| # 14 | 43 | 1452 | # 18 | 57 | 2581 | | | |

Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.
 $\phi(a) = 0.8$, $\phi(b) = 0.9$, $\phi(c) = 0.65$

Layout: Rectangular
 Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area, $A_s = 6194$ mm² at 2.48%
 16 #7 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

| No. | P_u kN | M_{ux} kN-m | M_{uy} kN-m | f_{Mnx} kN-m | f_{Mny} kN-m | f_{Mn}/M_u |
|-----|-------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 1 | 1665.8 | 244.1 | 241.1 | 290.9 | 287.3 | 1.192 |

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 41 Hasil Output pada PCA Column

Berdasarkan output dari PCA Column

$$M_{ux} = 244.1 \text{ kNm} < M_{nx} = 290.9 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 241.1 \text{ kNm} < M_{ny} = 287.3 \text{ kNm}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 16-D22.

Persentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 16 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 6082.12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{6082.12 \text{ mm}^2}{2500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 2.433\% < 8\% \text{ (Memenuhi)}$$

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCA Column lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang kolom dan tulangnya. Maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

4.6.1.2 Perhitungan Geser Kolom

❖ Data perencanaan kolom:

| | |
|---|-----------|
| - Tinggi kolom yang ditinjau | : 4000 mm |
| - b kolom | : 500 mm |
| - h kolom | : 500 mm |
| - kuat tekan beton (f_c') | : 30 Mpa |
| - Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) | : 400 Mpa |
| - Kuat leleh tul geser (f_y geser) | : 240 Mpa |
| - Diameter tul lentur (\emptyset lentur) | : 22 mm |
| - Diameter tul geser (\emptyset geser) | : 10 mm |

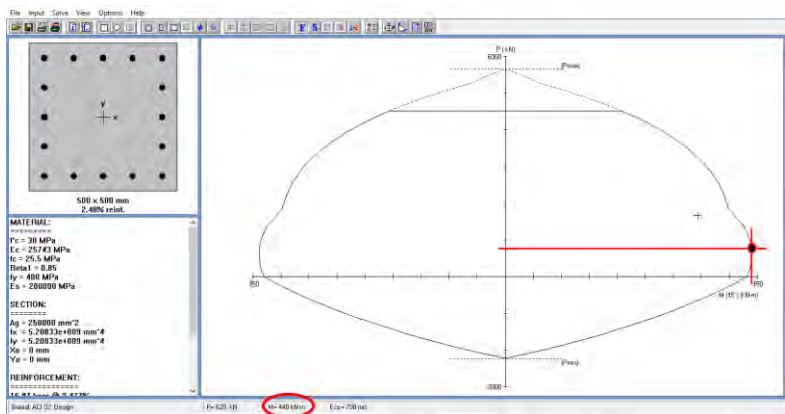
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
- Factor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0.75
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.3.2.(3))

❖ Output SAP

Berdasarkan hasil output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut:

$$P_u = (1.2D + 1.6L) = \mathbf{1810686.16 \text{ N}}$$

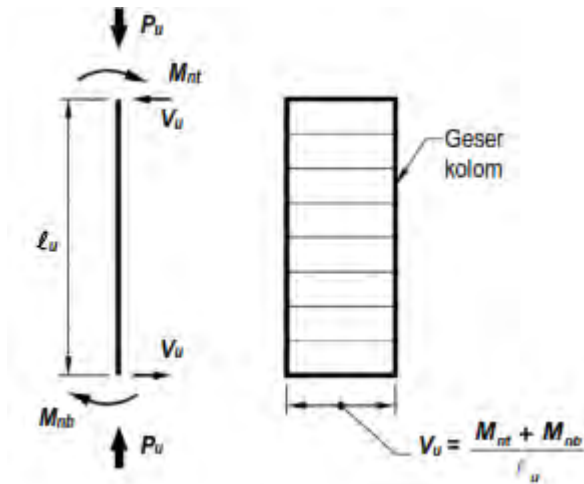
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCA Column sebagai berikut:



Gambar 4. 42 Gaya Lintang Rencana Kolom K1

$$M_{nt} = 440000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 440000000 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 43 Lintang Rencana untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5})$$

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{440000000 \text{ Nmm}}{0.75} = 586666666.7 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ub}}{\phi} = \frac{440000000 \text{ Nmm}}{0.75} = 586666666.7 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{586666666.7 \text{ Nmm} + 586666666.7 \text{ Nmm}}{4000 \text{ mm}} = 293333.33 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8.3

Mpa (SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f_c'} \leq 8.3$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq 8.3 \text{ N/mm}^2$$

$$5.477 \text{ N/mm}^2 \leq 8.3 \text{ N/mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kekuatan geser pada beton:

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{1810686.16 \text{ N}}{14 \times (500 \times 500)} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 439$$

$$V_c = 310117.78 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = 0.33 \times b \times d$$

$$= 0.33 \times 500 \times 439 = 72435 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times 500 \times 439 = 396742.83 \text{ N}$$

$$2 V_s \text{ max} = 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times 500 \times 439 = 793485.67 \text{ N}$$

Cek kondisi penulangan geser:

$$1. \quad V_u \leq 0.5 \phi V_c$$

$$292666.67 \text{ N} > 116294.17 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

$$2. \quad 0.5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$$

$$116294.17 \text{ N} < 292666.67 \text{ N} > 232588.33 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

$$3. \quad \phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_s \text{ min})$$

$$232588.33 \text{ N} < 292666.67 \text{ N} > 286914.58 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

$$4. \quad \phi (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_s \text{ maks})$$

$$286914.58 \text{ N} < 292666.67 \text{ N} < 530145.46 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{293333.33 \text{ N} - (0.75 \times 310117.78 \text{ N})}{0.75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 80993.33 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 = 157.08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S perlu):

$$S \text{ perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S \text{ perlu} = \frac{157.08 \times 240 \times 439}{80993.33 \text{ N}} = 204.3 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan jarak 150 mm

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4:

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$150 \text{ mm} \leq 439 \text{ mm}/2$$

$$150 \text{ mm} \leq 219.5 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

❖ Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi:

- a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$$

$$150 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- b. 24 kali diameter sengkang ikat

$$S_o \leq 24 \times \varnothing \text{ sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$
- c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur

$$S_o \leq \frac{1}{2} b_w$$

$$150 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$
- d. $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 150 mm. Maka, dipakai S_o sebesar $\varnothing 10\text{--}150 \text{ mm}$

Panjang L_o tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini:

- a. Seperenam tinggi bersih kolom

$$L_o = \frac{1}{6} \times (\text{Tinggi kolom} - \frac{1}{2} \times \text{Tinggi balok} - \frac{1}{2} \times \text{tinggi sloof})$$

$$L_o = \frac{1}{6} \times (4000 \text{ mm} - 650 \text{ mm})$$

$$L_o = 558.33 \text{ mm}$$
 - b. Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 500 \text{ mm}$$
 - c. $L_o > 450 \text{ mm}$
Maka dipakai L_o sebesar 600 mm
Sehingga dipasang sengkang sebesar $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$ sejarak 600 mm dari muka hubungan balok kolom.
2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0.5 S_o = 0.5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$
 3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$
Maka pada daerah setelah sejarak $L_o = 600 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$.

4.6.1.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0.071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 420$ Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0.071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0.071 \times 400 \text{ Mpa} \times 22 \geq 300 \text{ mm}$$

$$624.8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 700 mm

4.6.1.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385.6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0.043 f_y) d_b$$

$$= (0,043 \times 400) \times 22 = 378.4 \text{ mm}$$

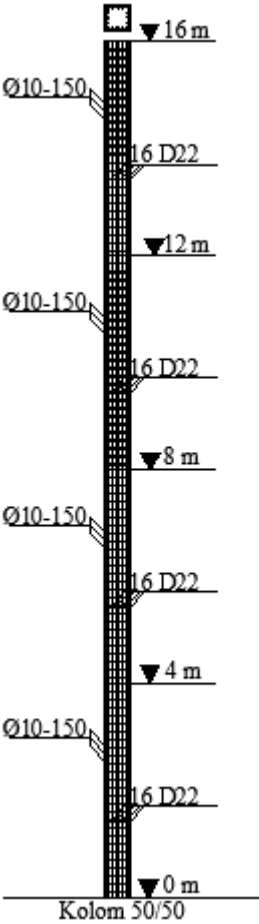
$$\text{Diambil} = 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dc} > 200 \text{ mm SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1}$$

$$385.6 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 400 mm.



Gambar 4. 44
Penulangan Portal K1

4.6.2 Perhitungan Kolom K2

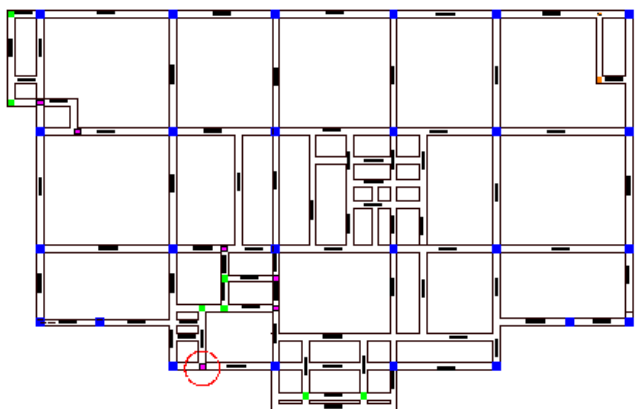
Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar, perhitungan diambil kolom struktur As A-2' pada lantai 1. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dengan metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut:

4.6.2.1 Perhitungan Lentur Kolom

❖ Data perencanaan kolom:

- Tipe kolom : K2
- As kolom : A-2'
- Frame : 43
- Tinggi kolom atas : 4000 mm
- Tinggi kolom yang ditinjau : 4000 mm
- b kolom : 350 mm
- h kolom : 450 mm
- kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Modulus elastisitas beton (E_c) : 25743 Mpa
- Modulus elastisitas baja (E_s) : 200000 Mpa
- Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) : 400 Mpa
- Kuat leleh tul geser (f_y geser) : 240 Mpa
- Diameter tul lentur (\emptyset lentur) : 22 mm
- Diameter tul geser (\emptyset geser) : 10 mm
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)**
- Jarak spasi tul sejajar (S sejajar) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3)**
- Factor β_1 : 0.85
- (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))**
- Factor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0.65
- (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2))**

❖ Gambar denah posisi kolom

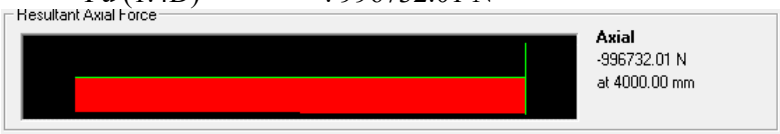


Gambar 4. 45 Gambar Denah Posisi Kolom K2

❖ **Output SAP**

- 1. Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 43 didapatkan gaya aksial kolom:

$P_u (1.4D) : 996732.01 \text{ N}$

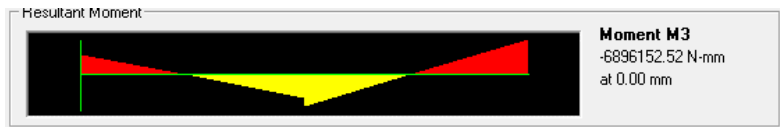


$P_u (1.2D + 1.6L) : 1055487.54 \text{ N}$

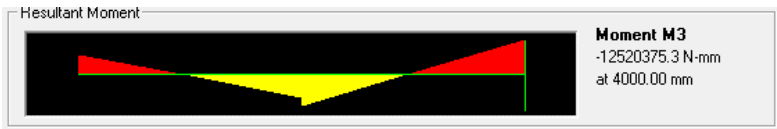


- 2. Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi (1,2DL + 1,6LL) :

Momen arah sumbu X
 $M1ns : 6896151.52 \text{ N-mm}$

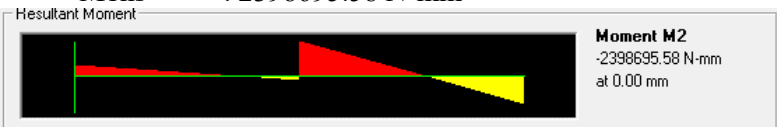


$M2_{ns}$: 12520375.3 N-mm

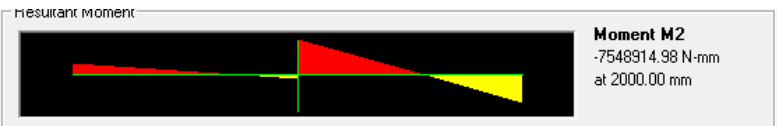


Momen arah sumbu Y

$M1_{ns}$: 2398695.58 N-mm



$M2_{ns}$: 7548914.98 N-mm



Momen akibat pengaruh beban gravitasi:

$M1_{ns}$ = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

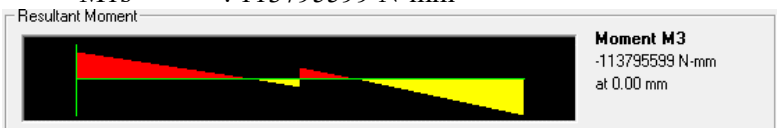
$M2_{ns}$ = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

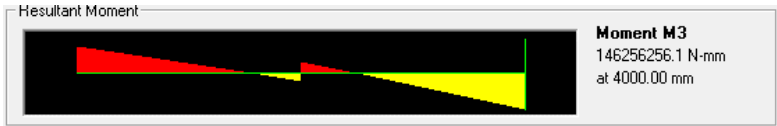
3. Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X ($1E_x + 0.3E_y$)

$M1_s$: 113795599 N-mm

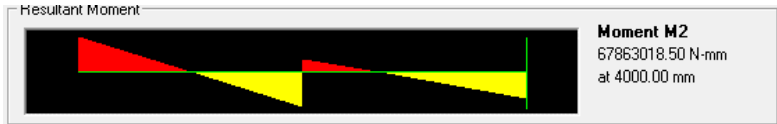


M2s : 146256256.1 N-mm

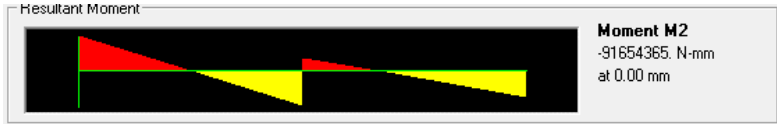


Momen arah sumbu Y (-0.3Ex - 1Ey)

M1s : 67863018.5 N-mm



M2s : 91654365 N-mm



Momen akibat pengaruh gaya gempa:

M1s = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm

(SNI 03-2847-2013)

M2s = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm

(SNI 03-2847-2013)

❖ **Syarat gaya aksial pada kolom**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \cdot F_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti **pasal 21.3.5** (Ketentuan kolom untuk SRPMM)

Syarat:

$$P_u (1.2D + 1.6L) \leq A_g \cdot F_c' / 10$$

$$1055487.54 \text{ N} \leq (350.450.30) / 10$$

$$1055487.54 \text{ N} > 472500 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

❖ **Kontrol kelangsingan kolom**

- β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{P_u (1.4D)}{P_u (1.2D + 1.6L)}$$

$$\beta_d = \frac{996732.01 \text{ N}}{1055487.54 \text{ N}} = 0.944$$

- Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom}}}{\Sigma(EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

- Untuk kolom 35/45

$$I_g = 0.7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.7 \times \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (450 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1860468750 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 1860468750 \text{ mm}^4}{1 + 0.944}$$

$$EI_{\text{kolom}} = 9.85304 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- Untuk balok memanjang 45/65

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 450 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 3604453125 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 3604453125 \text{ mm}^4}{1 + 0.944}$$

$$EI_{\text{balok}} = 1.90892 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

➤ Untuk balok melintang 35/50

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1276041667 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 1276041667 \text{ mm}^4}{1 + 0.944}$$

$$EI_{\text{balok}} = 6.75791 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

➤ Untuk sloof memanjang dan melintang 50/65

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 500 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 4004947917 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{sloof}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{sloof}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 4004947917 \text{ mm}^4}{1 + 0.944}$$

$$EI_{\text{sloof}} = 2.12102 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k).

➤ Kekakuan kolom atas:

$$\psi_A = \frac{\sum(EI/L)_{\text{kolom atas}} + \sum(EI/L)_{\text{kolom yg ditinjau}}}{\sum(EI/L)_{BA} + \sum(EI/L)_{B \text{ KIRI}} + \sum(EI/L)_{B \text{ KANAN}}}$$

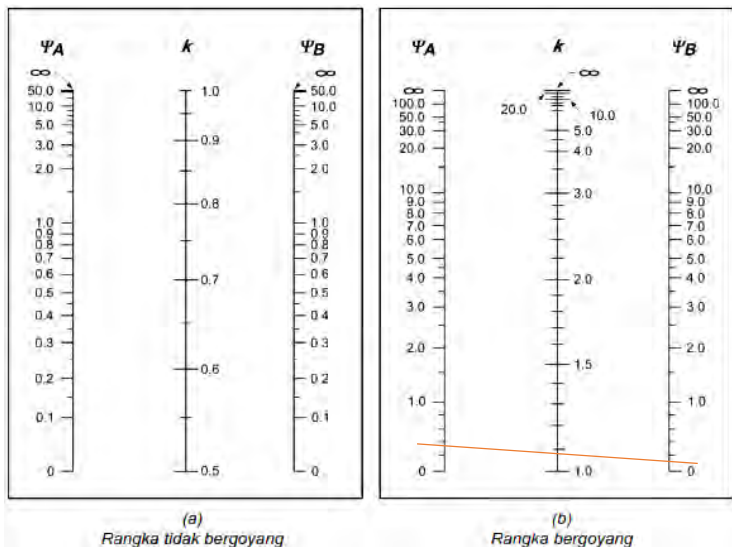
$$\psi_A = 0.327$$

➤ Kekakuan kolom bawah:

$$\psi_B = \frac{\sum(EI/L)_{\text{kolom yg ditinjau}}}{\sum(EI/L)_{SA} + \sum(EI/L)_{S \text{ KIRI}} + \sum(EI/L)_{S \text{ KANAN}}}$$

$$\psi_B = 0.122$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7



Gambar 4. 46 Faktor Efektif (K)

Dari grafik alignment didapatkan $K = 1.08$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.12** radius girasi boleh diambil sebesar 0.3 dari dimensi.

$$r = 0.3 \times h$$

$$r = 0.3 \times 500 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan:

$$\frac{k \times L_u}{r} \leq 22 \quad \text{Maka pengaruh kelangsingan boleh diabaikan}$$

$$\frac{1.08 \times 4000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \leq 22$$

$$32 > 22 \quad \text{Kolom langsing}$$

❖ **Peninjauan kolom akibat momen arah X**

Berdasarkan output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

➤ Akibat kombinasi gempa (1Ex + 0.3Ey):

M1s : 113795599 N-mm

M2s : 146256256.1 N-mm

Akibat kombinasi 1.2D + 1.6L:

M1ns : 6896152.52 N-mm

M2ns : 12520375.3 N-mm

➤ Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{\text{kolom}}}{(k \cdot L_u)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 9.85304 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}{(1.08 \times 4000 \text{ mm})^2}$$

$$P_c = 5210775.93 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 6 \times 5210775.93 \text{ N} = 31264655.58 \text{ N}$$

$$P_u = 1055487.54 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$\sum P_u = 6 \times 1055487.54 \text{ N} = 6332925.24 \text{ N}$$

- Menghitung factor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{6332925.24 \text{ N}}{0.75 \times 211652388.8 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1.37 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1.37$ dalam perhitungan perbesaran momen

- Perbesaran momen portal bergoyang (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 6896152.52 \text{ Nmm} + (1.37 \times 113795599 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 162797224.5 \text{ N}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 12520375.3 \text{ Nmm} + (1.37 \times 146256256.1 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 212892861.7 \text{ N}$$

Diambil momen terbesar yaitu: **212892861.7 N**

- Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\begin{aligned}\mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm} \\ &= 328 \text{ mm}\end{aligned}$$

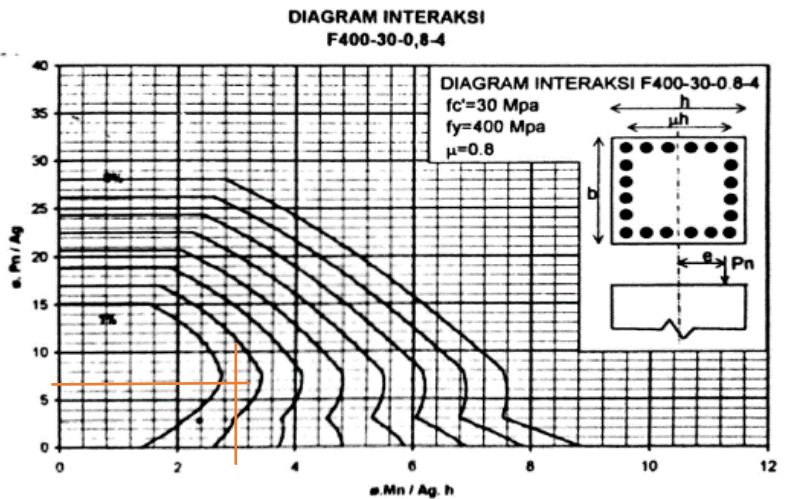
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{328 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} = 0.729$$

Sumbu vertikal:

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{1055487.5 \text{ N}}{157500 \text{ mm}^2} = 6.70 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal:

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{212892861.7 \text{ N}}{70875000 \text{ mm}^3} = 3.00 \text{ N/mm}^2$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0.02$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0.02 \times 350 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \\ &= 3150 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380.133 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulaangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan D22}}$$

$$n = \frac{3150 \text{ mm}^2}{380.133 \text{ mm}^2} = 8.29 \approx 12 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= n \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2\right) \\ &= 12 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2\right) \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 12-D22.

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{4561.59 \text{ mm}^2}{157500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 2.896\% < 8\% \text{ (**Memenuhi**)}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{212892861.7 \text{ Nmm}}{0.65} = 327527479.6 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{1055487.54 \text{ N}}{0.65} = 1623826.99 \text{ N}$$

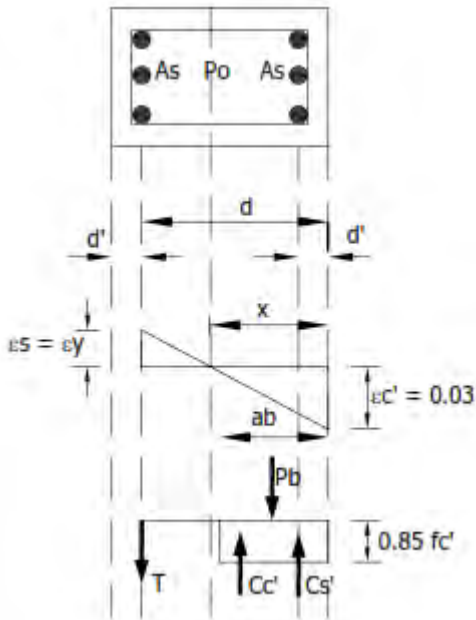
$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{327527479.6 \text{ Nmm}}{1623826.99 \text{ N}} = 201.7 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = (15.24 + 0.03h)$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.5)

$$e_{\min} = (15.24 + 0.03 \times 450 \text{ mm}) = 28.74 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance



Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = h_{\text{kolom}} - (\text{decking}) - (\phi_{\text{geser}}) - (1/2 \times \phi_{\text{lentur}}) \\ = 350 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) = 289 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + (\phi_{\text{geser}}) + (1/2 \times \phi_{\text{lentur}}) \\ = 40 + 10 + (1/2 \times 22) = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = h_{\text{kolom}} - (\text{decking}) - (\phi_{\text{geser}}) - (1/2 \times \phi_{\text{lentur}}) - (1/2 \times h_{\text{kolom}}) \\ = 350 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) - (1/2 \times 450) \\ = 114 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + 400)} \times 289 \text{ mm} = 173.4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0.85 X_b = 0.85 \times 173.4 \text{ mm} = 147.39 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1708316.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times F_y \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 1824637 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_b \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 173.4 = 1315455.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P_b &= (1315455.8 \text{ N} + 1708316.4 \text{ N}) - 1824637 \text{ N} \\ &= 1199135.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= P_b \times e \text{ balance} \\ &= C_c' (d - d'' - a_b/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 536018934.3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_b &= M_b/P_b \\ &= 536018934.3 \text{ Nmm} / 1199135.1 \text{ N} = 447.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

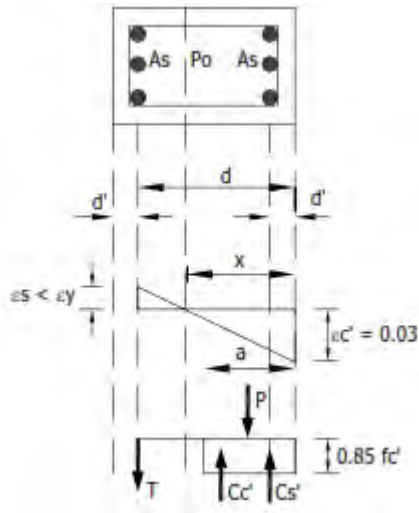
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$\begin{aligned} e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\ 28.74 \text{ mm} &< 201.7 \text{ mm} < 447.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kondisi Tekan Menentukan



Syarat : $e < e_b$

$$201.74 \text{ mm} < 447.00 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Mencari nilai x

$$a = 0.54 d$$

$$0.85 \cdot x = 0.54 \times 289 \text{ mm}$$

$$x = 183.6 \text{ mm}$$

Syarat : $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0.003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0.003 = 0.00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 344.44 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol : } \epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0.00172 &< 0.002 & \textbf{(Memenuhi)} \\ F_s &< F_y \\ 344.44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} & \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1708316.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 183.6 = 1392835.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ T &= 4561.59 \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 1571215.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P &= (1392835.5 \text{ N} + 1708316.4 \text{ N}) - 1571215.2 \text{ N} \\ &= 1529936.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P &> P_b \\ 1529936.7 \text{ N} &> 1199135.1 \text{ N} & \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' (d - d'' - a/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 508929861.9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\begin{aligned} M_n \text{ Terpasang} &> M_n \\ 508929861.9 \text{ Nmm} &> 327527479.6 \text{ Nmm} & \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

❖ Peninjauan kolom akibat momen arah Y

Berdasarkan output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

- Akibat kombinasi gempa (-0.3Ex -1Ey):

M1s : 67863018.5 N-mm

M2s : 91654365 N-mm

Akibat kombinasi 1.2D + 1.6L:

M1ns : 2398695.58 N-mm

M2ns : 7548914.98 N-mm

- Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{kolom}}{(k \cdot L_u)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 9.85304 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}{(1.08 \times 4000 \text{ mm})^2}$$

$$P_c = 5210775.93 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 6 \times 5210775.93 \text{ N} = 31264655.58 \text{ N}$$

$$P_u = 1055487.54 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$\sum P_u = 6 \times 1055487.54 \text{ N} = 6332925.24 \text{ N}$$

- Menghitung factor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{6332925.24 \text{ N}}{0.75 \times 211652388.8 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1.37 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1.37$ dalam perhitungan perbesaran momen

- Perbesaran momen portal bergoyang (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 2398695.58 \text{ Nmm} + (1.37 \times 67863018.5 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 95371687.75 \text{ N}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 7548914.98 \text{ Nmm} + (1.37 \times 91654365 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 133116282.1 \text{ N}$$

Diambil momen terbesar yaitu: **133116282.1 N**

- Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi
 Dalam menentukan ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm} \\ &= 328 \text{ mm} \end{aligned}$$

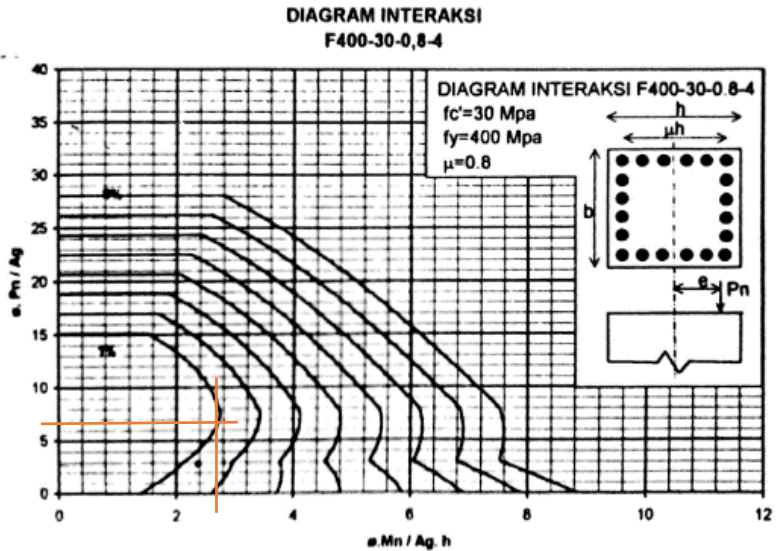
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{328 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} = 0.729$$

Sumbu vertikal:

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{1055487.5 \text{ N}}{157500 \text{ mm}^2} = 6.70 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal:

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{133116282.1 \text{ N N}}{70875000 \text{ mm}^3} = 1.88 \text{ N/mm}^2$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0.01$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0.01 \times 350 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \\ &= 1575 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380.133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulaangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luas tulangan D22}}$$

$$n = \frac{1575 \text{ mm}^2}{380.133 \text{ mm}^2} = 4.14 \approx 8 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 8 \times (1/4 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2) \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah Y menggunakan tulangan sebesar 8-D22.

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{3041.06 \text{ mm}^2}{157500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 1.931\% < 8\% \text{ (**Memenuhi**)}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{133116282.1 \text{ Nmm}}{0.65} = 204794280.2 \text{ Nmm}$$

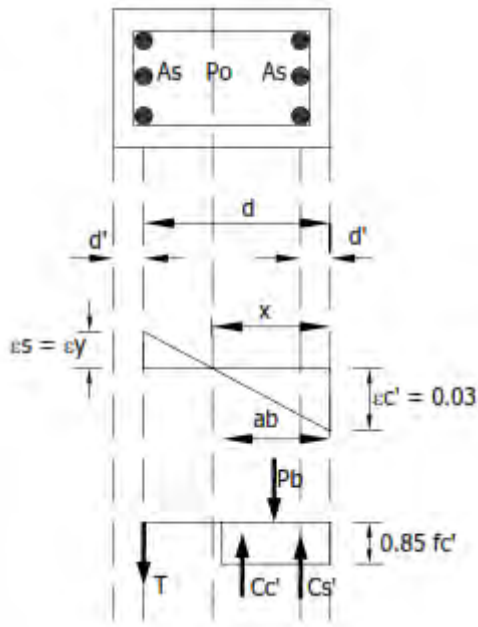
$$P_n = \frac{1055487.54 \text{ N}}{0.65} = 1623826.99 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{204794280.2 \text{ Nmm}}{1623826.99 \text{ N}} = 126.12 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03h) \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.5})$$

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03 \times 450 \text{ mm}) = 28.74 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance



Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = h \text{ kolom} - (\text{decking}) - (\emptyset \text{ geser}) - (1/2 \times \emptyset \text{ lentur})$$

$$= 450 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) = 389 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + (\emptyset \text{ geser}) + (1/2 \times \emptyset \text{ lentur})$$

$$= 40 + 10 + (1/2 \times 22) = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = h \text{ kolom} - (\text{decking}) - (\emptyset \text{ geser}) - (1/2 \times \emptyset \text{ lentur}) - (1/2 \times h \text{ kolom})$$

$$= 450 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) - (1/2 \times 450)$$

$$= 164 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + 400)} \times 389 \text{ mm} = 233.4 \text{ mm}$$

$$ab = 0.85 Xb = 0.85 \times 233.4 \text{ mm} = 198.39 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' (fy - 0.85 fc') \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1138877.6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= As \times Fy \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 1216424.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot fc' \cdot b \cdot Xb \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 233.4 = 1770630.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$\begin{aligned} Pb &= (1770630.8 \text{ N} + 1138877.6 \text{ N}) - 1216424.7 \text{ N} \\ &= 1693083.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mb &= Pb \times e \text{ balance} \\ &= Cc' (d - d'' - ab/2) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 609023775.1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} eb &= Mb/Pb \\ &= 609023775.1 \text{ Nmm} / 1693083.7 \text{ N} = 359.71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

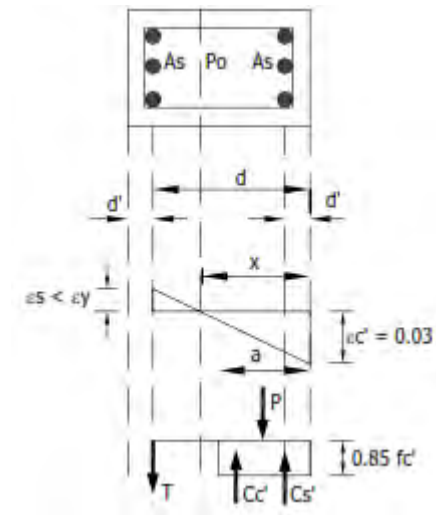
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$\begin{aligned} e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\ 28.74 \text{ mm} &< 126.1 \text{ mm} < 359.71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kondisi Tekan Menentukan



Syarat : $e < e_b$
 $126.1 \text{ mm} < 359.71 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Mencari nilai x

$$\begin{aligned} a &= 0.54 d \\ 0.85 \cdot x &= 0.54 \times 389 \text{ mm} \\ x &= 247.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0.003 \\ \epsilon_s &= \left(\frac{389 \text{ mm}}{247.1 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0.003 = 0.00172 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ f_s &= \left(\frac{389 \text{ mm}}{247.1 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 344.44 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol : } \epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0.00172 &< 0.002 && \textbf{(Memenuhi)} \\ F_s &< F_y \\ 344.44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1138877.6 \text{ N} \\ C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 247.1 = 1874785.5 \text{ N} \\ T &= A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ T &= 3041.06 \left(\frac{389 \text{ mm}}{247.1 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 1047476.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P_b &= (1874785.5 \text{ N} + 1138877.6 \text{ N}) - 1047476.8 \text{ N} \\ &= 1966186.3 \text{ N} \end{aligned}$$

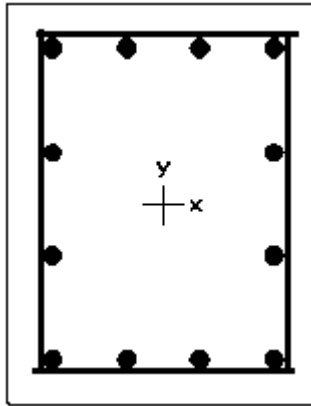
$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P &> P_b \\ 1966186.3 \text{ N} &> 1693083.7 \text{ N} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' (d - d'' - a/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 583480139.1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\begin{aligned} M_n \text{ Terpasang} &> M_n \\ 583480139.1 \text{ Nmm} &> 204794280.2 \text{ Nmm} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 12D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:



Gambar 4. 47 Penampang Kolom K2

❖ **Kontrol jarak spasi tulangan**

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar} \rightarrow$ Susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} \rightarrow$ Perbesar penampang kolom

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times \phi_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1} = 54 \text{ mm}$$

$S_{maks} > 40 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis

❖ **Cek dengan program PCA Column**

Output terbesar mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCA Column, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut:

Mutu beton (f_c') = 30 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa

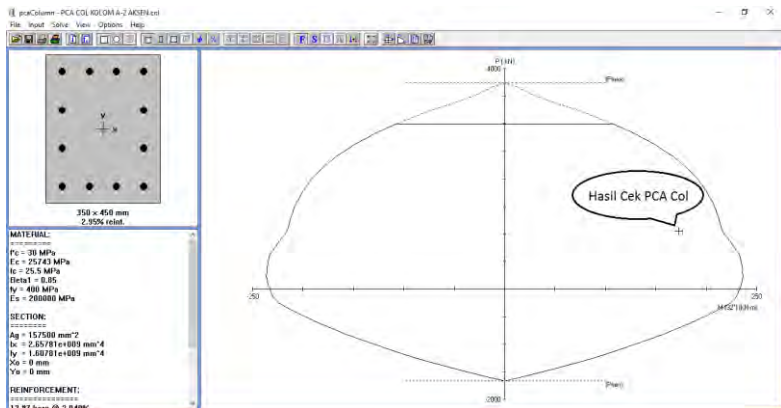
Modulus elastisitas = 25743 Mpa

β_1 = 0.85

b kolom = 350 mm

h kolom = 450 mm

Tulangan pasang = 12-D22



Gambar 4. 48 Grafik Akibat Momen pada PCA Column

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615

| Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) |
|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|
| # 3 | 10 | 71 | # 4 | 13 | 129 | # 5 | 16 | 200 |
| # 6 | 19 | 284 | # 7 | 22 | 387 | # 8 | 25 | 510 |
| # 9 | 29 | 645 | # 10 | 32 | 819 | # 11 | 36 | 1006 |
| # 14 | 43 | 1452 | # 18 | 57 | 2581 | | | |

Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
Total steel area, A_s = 4645 mm² at 2.95%
12 #7 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

| No. | P _u kN | M _{ux} kN-m | M _{uy} kN-m | φM _{nx} kN-m | φM _{ny} kN-m | φM _n /M _u |
|-----|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1055.5 | 146.3 | 91.7 | 182.8 | 114.6 | 1.250 |

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 49 Hasil Output pada PCA Column

Berdasarkan output dari PCA Column

$$M_{ux} = 146.3 \text{ kNm} < M_{nx} = 182.8 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 91.7 \text{ kNm} < M_{ny} = 114.6 \text{ kNm}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 16-D22.

Persentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 12 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{4561.59 \text{ mm}^2}{157500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 2.896\% < 8\% \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCA Column lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang kolom dan tulangnya. Maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

4.6.2.2 Perhitungan Geser Kolom

❖ Data perencanaan kolom:

- Tinggi kolom yang ditinjau : 4000 mm
- b kolom : 350 mm
- h kolom : 450 mm
- kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) : 400 Mpa
- Kuat leleh tul geser (f_y geser) : 240 Mpa
- Diameter tul lentur (\emptyset lentur) : 22 mm
- Diameter tul geser (\emptyset geser) : 10 mm

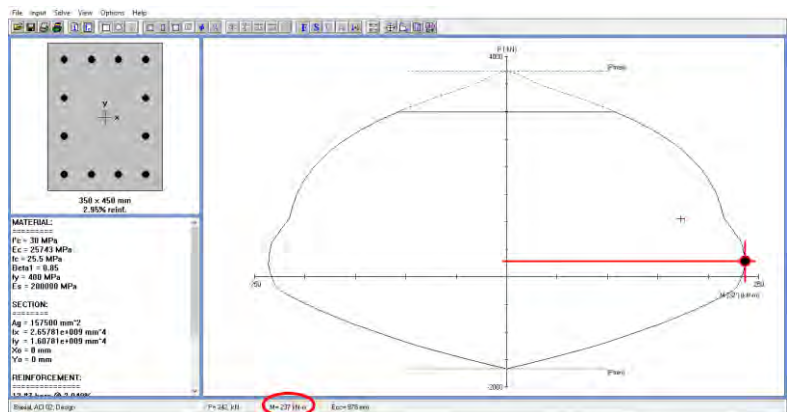
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
- Factor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0.75
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.3.2.(3))

❖ Output SAP

Berdasarkan hasil output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut:

$$P_u = (1.2D + 1.6L) = 1055487.54 \text{ N}$$

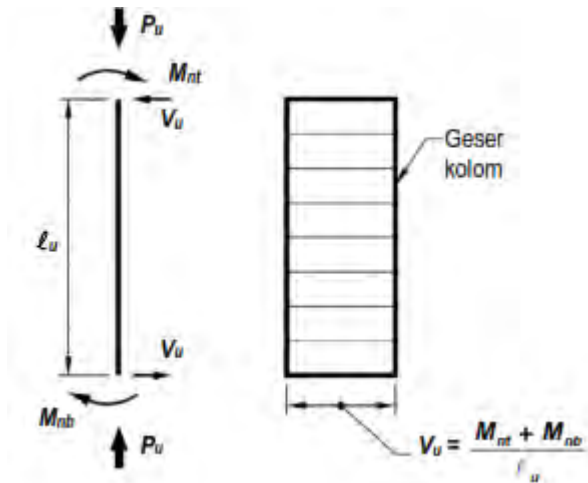
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCA Column sebagai berikut:



Gambar 4. 50 Gaya Lintang Rencana Kolom K2

$$M_{nt} = 237000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 237000000 \text{ Nmm}$$



$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5})$$

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{237000000 \text{ Nmm}}{0.75} = 316000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ub}}{\phi} = \frac{237000000 \text{ Nmm}}{0.75} = 316000000 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{316000000 \text{ Nmm} + 316000000 \text{ Nmm}}{4000 \text{ mm}} = 158000 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8.3 Mpa (SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f_c'} \leq 8.3$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq 8.3 \text{ N/mm}^2$$

$$5.477 \text{ N/mm}^2 \leq 8.3 \text{ N/mm}^2$$

(Memenuhi)

Kekuatan geser pada beton:

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{1055487.54 \text{ N}}{14 \times (350 \times 450)} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 389$$

$$V_c = 187456.78 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times b \times d$$

$$= 0.33 \times 350 \times 389 = 44929.5 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times 350 \times 389 = 246089.01 \text{ N}$$

$$2 V_{s \text{ max}} = 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times 350 \times 389 = 492178.01 \text{ N}$$

Cek kondisi penulangan geser:

$$1. \quad V_u \leq 0.5 \phi V_c$$

$$158000 \text{ N} > 70296.291 \text{ N} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$2. \quad 0.5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$$

$$70296.291 \text{ N} < 158000 \text{ N} > 140592.58 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

$$3. \quad \phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$$

$$140592.58 \text{ N} < 158000 \text{ N} < 174289.71 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan kondisi 3.

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{158000 \text{ N} - (0.75 \times 187456.78 \text{ N})}{0.75}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 23209.89 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser $\varnothing 10$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \text{ kaki} \\ = \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 = 157.08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S perlu):

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157.08 \times 240 \times 389}{23209.89 \text{ N}} = 631.84 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan jarak 150 mm

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3:

$$S_{\text{max}} \leq d/2$$

$$150 \text{ mm} \leq 389 \text{ mm}/2$$

$$150 \text{ mm} \leq 194.5 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

❖ Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi:

- a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$$

$$150 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- b. 24 kali diameter sengkang ikat

$$S_o \leq 24 \times \varnothing \text{ sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur

$$S_o \leq \frac{1}{2} b_w$$

$$150 \text{ mm} \leq 175 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- d. $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 150 mm. Maka, dipakai S_o sebesar $\emptyset 10\text{--}150 \text{ mm}$

Panjang L_o tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini:

- a. Seperenam tinggi bersih kolom

$$L_o = \frac{1}{6} \times (\text{Tinggi kolom} - \frac{1}{2} \times \text{Tinggi balok} - \frac{1}{2} \times \text{tinggi sloof})$$

$$L_o = \frac{1}{6} \times (4000 \text{ mm} - 650 \text{ mm})$$

$$L_o = 558.33 \text{ mm}$$

- b. Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 450 \text{ mm}$$

- c. $L_o > 450 \text{ mm}$

Maka dipakai L_o sebesar 600 mm

Sehingga dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$ sejarak 600 mm dari muka hubungan balok kolom.

2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0.5 S_o = 0.5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$

3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Maka pada daerah setelah sejarak $L_o = 600 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$.

4.6.2.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0.071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 420$ Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0.071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0.071 \times 400 \text{ Mpa} \times 22 \geq 300 \text{ mm}$$

$$624.8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 700 mm

4.6.2.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_{c'}}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385.6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0.043 f_y) d_b$$

$$= (0,043 \times 400) \times 22 = 378.4 \text{ mm}$$

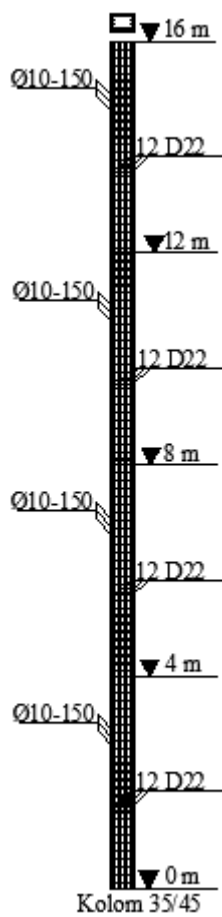
$$\text{Diambil} = 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dc} > 200 \text{ mm SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1}$$

$$385.6 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 400 mm.



Gambar 4. 51
Penulangan Portal K2

4.6.3 Perhitungan Kolom K3

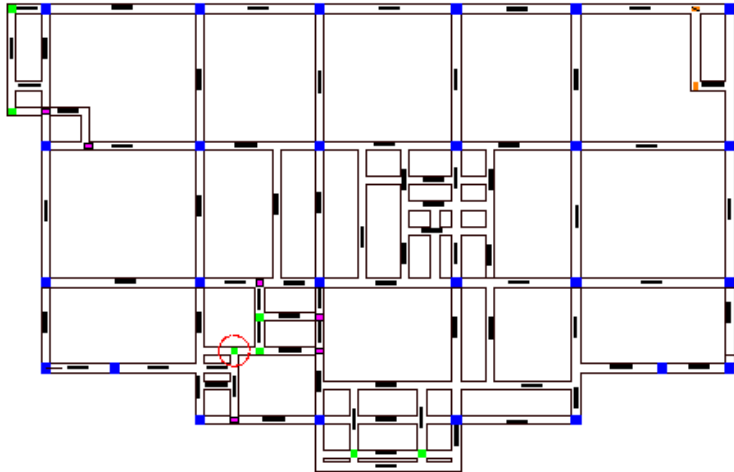
Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar, perhitungan diambil kolom struktur As A''-2' pada lantai 1. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dengan metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut:

4.6.3.1 Perhitungan Lentur Kolom

❖ Data perencanaan kolom:

- Tipe kolom : K3
- As kolom : A''-2'
- Frame : 107
- Tinggi kolom atas : 4000 mm
- Tinggi kolom yang ditinjau : 4000 mm
- b kolom : 350 mm
- h kolom : 350 mm
- kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Modulus elastisitas beton (E_c) : 25743 Mpa
- Modulus elastisitas baja (E_s) : 200000 Mpa
- Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) : 400 Mpa
- Kuat leleh tul geser (f_y geser) : 240 Mpa
- Diameter tul lentur (\emptyset lentur) : 22 mm
- Diameter tul geser (\emptyset geser) : 10 mm
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)**
- Jarak spasi tul sejajar (S sejajar) : 40 mm
- (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3)**
- Factor β_1 : 0.85
- (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))**
- Factor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0.65
- (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2))**

❖ Gambar denah posisi kolom

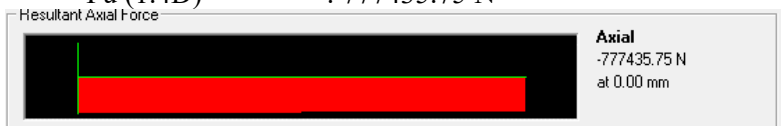


Gambar 4. 52 Denah Posisi Kolom K3

❖ Output SAP

1. Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 43 didapatkan gaya aksial kolom:

$P_u (1.4D)$: 777435.75 N



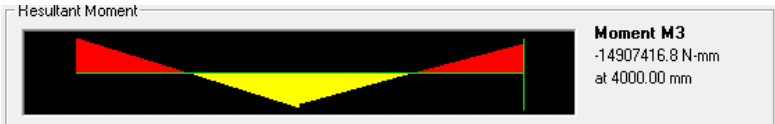
$P_u (1.2D + 1.6L)$: 822798.54 N



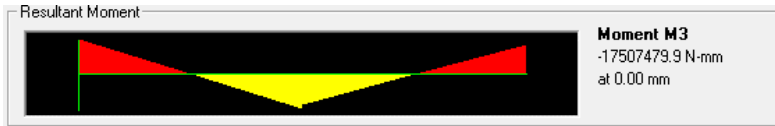
2. Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi $(1,2DL + 1,6LL)$:

Momen arah sumbu X

$M1_{ns}$: 14907416.8 N-mm

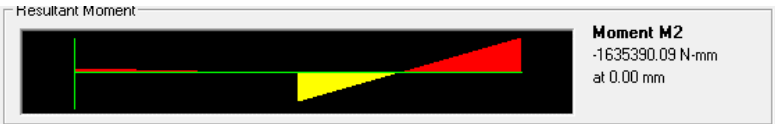


$M2_{ns}$: 17507479.9 N-mm

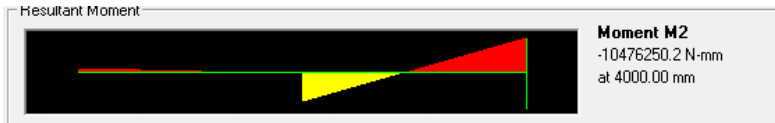


Momen arah sumbu Y

$M1_{ns}$: 1635390.09 N-mm



$M2_{ns}$: 10476250.2 N-mm



Momen akibat pengaruh beban gravitasi:

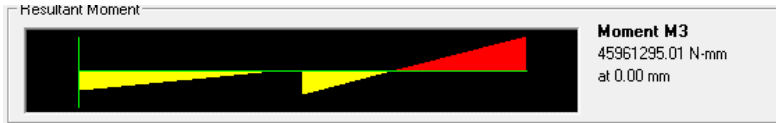
$M1_{ns}$ = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

$M2_{ns}$ = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

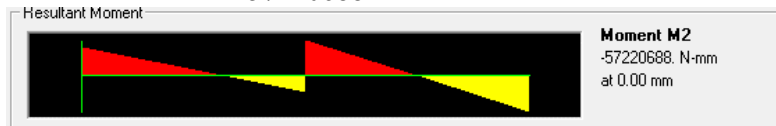
3. Momen akibat pengaruh gaya gempa
 Momen arah sumbu X ($1E_x + 0.3E_y$)
 $M1s$: 45961295.01 N-mm



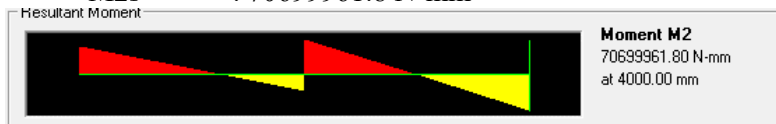
$M2s$: 88155535 N-mm



Momen arah sumbu Y ($-0.3E_x - 1E_y$)
 $M1s$: 57220688 N-mm



$M2s$: 70699961.8 N-mm



Momen akibat pengaruh gaya gempa:

$M1s$ = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm
 (SNI 03-2847-2013)

$M2s$ = adalah momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm
 (SNI 03-2847-2013)

❖ **Syarat gaya aksial pada kolom**

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2** gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \cdot F_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti **pasal 21.3.5** (Ketentuan kolom untuk SRPMM)

Syarat:

$$P_u (1.2D + 1.6L) \leq A_g \cdot F_c' / 10$$

$$822798.54 \text{ N} \leq (350.350.30) / 10$$

$$822798.54 \text{ N} > 367500 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

❖ **Kontrol kelangsingan kolom**

- β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{P_u (1.4D)}{P_u (1.2D + 1.6L)}$$

$$\beta_d = \frac{777435.75 \text{ N}}{822798.54 \text{ N}} = 0.945$$

- Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom}}}{\Sigma(EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

- Untuk kolom 35/35

$$I_g = 0.7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.7 \times \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (350 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 875364583.3 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 875364583.3 \text{ mm}^4}{1 + 0.945}$$

$$EI_{\text{kolom}} = 4.63465 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- Untuk balok memanjang dan melintang 35/50

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1276041667 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 1276041667 \text{ mm}^4}{1 + 0.945}$$

$$EI_{\text{balok}} = 6.75606 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- Untuk sloof memanjang dan melintang 50/65

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 500 \text{ mm} \times (650 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 4004947917 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{sloof}} = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1)

$$EI_{\text{sloof}} = \frac{0.4 \times 25743 \text{ Mpa} \times 4004947917 \text{ mm}^4}{1 + 0.945}$$

$$EI_{\text{sloof}} = 2.121044 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k).

- Kekakuan kolom atas:

$$\psi_A = \frac{\sum(EI/L)_{\text{kolom atas}} + \sum(EI/L)_{\text{kolom yg ditinjau}}}{\sum(EI/L)_{BB} + \sum(EI/L)_{B \text{ KIRI}} + \sum(EI/L)_{B \text{ KANAN}}}$$

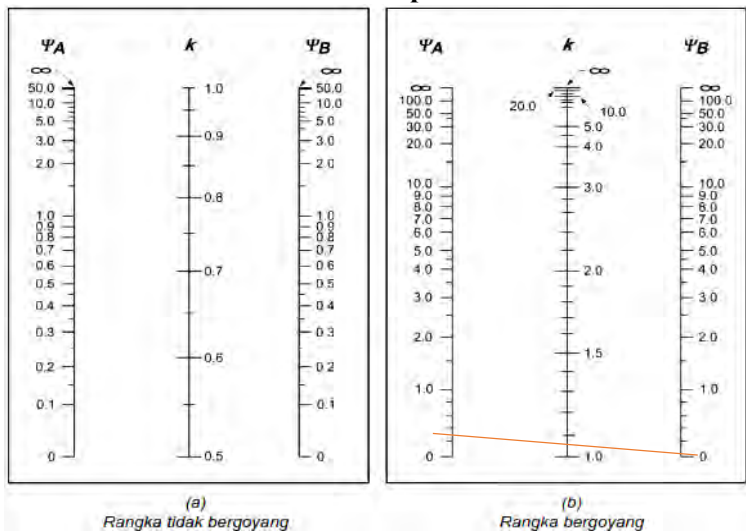
$$\psi_A = 0.242$$

➤ Kekakuan kolom bawah:

$$\psi_B = \frac{\sum(EI/L)_{\text{kolom yg ditinjau}}}{\sum(EI/L)_{SB} + \sum(EI/L)_{S \text{ KIRI}} + \sum(EI/L)_{S \text{ KANAN}}}$$

$$\psi_B = 0.039$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7



Gambar 4. 53 Faktor Efektif (K)

Dari grafik alignment didapatkan $K = 1.05$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.12** radius girasi boleh diambil sebesar 0.3 dari dimensi.

$$r = 0.3 \times h$$

$$r = 0.3 \times 350 \text{ mm} = 105 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan:

$$\frac{k \times L_u}{r} \leq 22 \quad \text{Maka pengaruh kelangsingan boleh diabaikan}$$

$$\frac{1.05 \times 4000 \text{ mm}}{105 \text{ mm}} \leq 22$$

$$40 > 22 \quad \text{Kolom langsing}$$

❖ **Peninjauan kolom akibat momen arah X**

Berdasarkan output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

➤ Akibat kombinasi gempa (1Ex + 0.3Ey):

M1s : 45961295.01 N-mm

M2s : 88155535 N-mm

Akibat kombinasi 1.2D + 1.6L:

M1ns : 14907416.8 N-mm

M2ns : 17507479.9 N-mm

➤ Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{\text{kolom}}}{(k \cdot L_u)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 4.63465 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}{(1.05 \times 4000 \text{ mm})^2}$$

$$P_c = 2593095.746 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 8 \times 2593095.746 \text{ N} = 20744765.97 \text{ N}$$

$$P_u = 822798.54 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$\sum P_u = 8 \times 822798.54 \text{ N} = 6582388.32 \text{ N}$$

- Menghitung factor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{6582388.32 \text{ N}}{0.75 \times 211652388.8 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1.73 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1.73$ dalam perhitungan perbesaran momen

- Perbesaran momen portal bergoyang (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 14907416.8 \text{ Nmm} + (1.73 \times 45961295.01 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 94572902.68 \text{ N}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 17507479.9 \text{ Nmm} + (1.73 \times 88155535 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 170308951.8 \text{ N}$$

Diambil momen terbesar yaitu: **170308951.8 N**

- Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm} \\ &= 228 \text{ mm} \end{aligned}$$

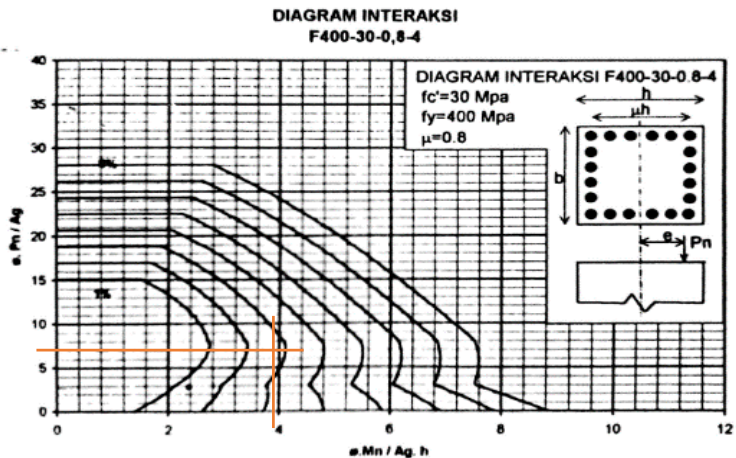
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{228 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 0.651$$

Sumbu vertikal:

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{822798.54 \text{ N}}{122500 \text{ mm}^2} = 6.72 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal:

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{170308951.8 \text{ N}}{42875000 \text{ mm}^3} = 3.97 \text{ N/mm}^2$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 3\% = 0.03$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0.02 \times 350 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \\ &= 3675 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\text{Luas tulangan D22} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380.133 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan D22}}$$

$$n = \frac{3675 \text{ mm}^2}{380.133 \text{ mm}^2} = 9.67 \approx 12 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$A_{s\text{ pasang}} = n \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right)$$

$$= 12 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \right)$$

$$= 4561.59 \text{ mm}^2$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 12-D22.

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_{s\text{ pasang}}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{4561.59 \text{ mm}^2}{122500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 3.724\% < 8\% \text{ (**Memenuhi**)}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{170308951.8 \text{ Nmm}}{0.65} = 262013772 \text{ Nmm}$$

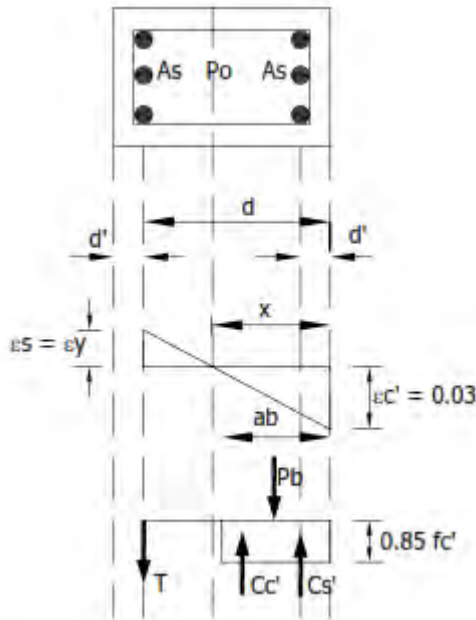
$$P_n = \frac{822798.54 \text{ N}}{0.65} = 1265843.908 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{262013772 \text{ Nmm}}{1265843.908 \text{ N}} = 206.99 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (15.24 + 0.03h)$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.5)

$$e_{\min} = (15.24 + 0.03 \times 350 \text{ mm}) = 25.74 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = h_{\text{kolom}} - (\text{decking}) - (\phi_{\text{geser}}) - (1/2 \times \phi_{\text{lentur}}) \\ = 350 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) = 289 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + (\phi_{\text{geser}}) + (1/2 \times \phi_{\text{lentur}}) \\ = 40 + 10 + (1/2 \times 22) = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = h_{\text{kolom}} - (\text{decking}) - (\phi_{\text{geser}}) - (1/2 \times \phi_{\text{lentur}}) - (1/2 \times h_{\text{kolom}}) \\ = 350 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) - (1/2 \times 450) \\ = 114 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + 400)} \times 289 \text{ mm} = 173.4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0.85 X_b = 0.85 \times 173.4 \text{ mm} = 147.39 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1708316.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times F_y \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 1824637 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_b \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 173.4 = 1315455.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P_b &= (1315455.8 \text{ N} + 1708316.4 \text{ N}) - 1824637 \text{ N} \\ &= 1199135.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= P_b \times e \text{ balance} \\ &= C_c' (d - d'' - a_b/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 536018934.3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_b &= M_b / P_b \\ &= 536018934.3 \text{ Nmm} / 1199135.1 \text{ N} = 447.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

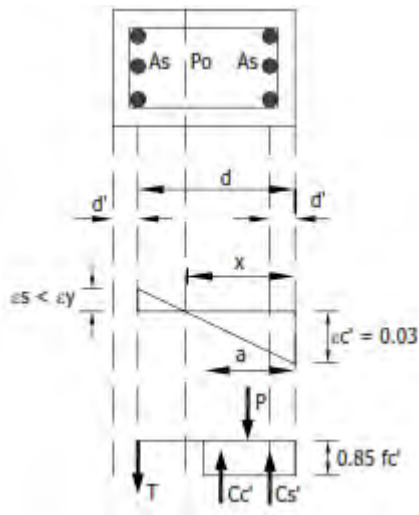
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$\begin{aligned} e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\ 25.74 \text{ mm} &< 206.99 \text{ mm} < 447.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kondisi Tekan Menentukan



Syarat : $e < e_b$
 $206.99 \text{ mm} < 447.00 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Mencari nilai x

$$a = 0.54 d$$

$$0.85 \cdot x = 0.54 \times 289 \text{ mm}$$

$$x = 183.6 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0.003$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0.003 = 0.00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 344.44 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol : } \epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0.00172 &< 0.002 && \textbf{(Memenuhi)} \\ F_s &< F_y \\ 344.44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1708316.4 \text{ N} \\ C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 183.6 = 1392835.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ T &= 4561.59 \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 1571215.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned} P &= (1392835.5 \text{ N} + 1708316.4 \text{ N}) - 1571215.2 \text{ N} \\ &= 1529936.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P &> P_b \\ 1529936.7 \text{ N} &> 1199135.1 \text{ N} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' (d - d'' - a/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 508929861.9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\begin{aligned} M_n \text{ Terpasang} &> M_n \\ 508929861.9 \text{ Nmm} &> 262013772 \text{ Nmm} && \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

❖ **Peninjauan kolom akibat momen arah Y**

Berdasarkan output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut:

- Akibat kombinasi gempa $(-0.3E_x -1E_y)$:

$$M1s : 57220688 \text{ N-mm}$$

$$M2s : 70699961.8 \text{ N-mm}$$

Akibat kombinasi $1.2D + 1.6L$:

$$M1ns : 1635390.09 \text{ N-mm}$$

$$M2ns : 10476250.2 \text{ N-mm}$$

- Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_{\text{kolom}}}{(k. Lu)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 4.63465 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}{(1.05 \times 4000 \text{ mm})^2}$$

$$P_c = 2593095.746 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c$$

$$\sum P_c = 8 \times 2593095.746 \text{ N} = 20744765.97 \text{ N}$$

$$P_u = 822798.54 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u$$

$$\sum P_u = 8 \times 822798.54 \text{ N} = 6582388.32 \text{ N}$$

- Menghitung factor pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{6582388.32 \text{ N}}{0.75 \times 211652388.8 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1.73 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 1.73$ dalam perhitungan perbesaran momen

- Perbesaran momen portal bergoyang (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7)

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_S M_{1s}$$

$$M_1 = 1635390.09 \text{ Nmm} + (1.73 \times 57220688 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 100816971.3 \text{ N}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_S M_{2s}$$

$$M_2 = 10476250.2 \text{ Nmm} + (1.73 \times 70699961.8 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 133021683.4 \text{ N}$$

Diambil momen terbesar yaitu: **133021683.4 N**

- Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm} \\ &= 228 \text{ mm} \end{aligned}$$

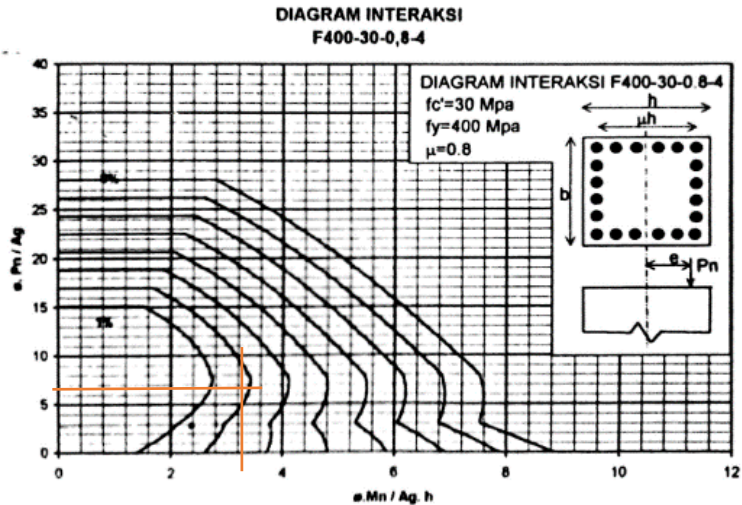
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{228 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 0.651$$

Sumbu vertikal:

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{822798.54 \text{ N}}{122500 \text{ mm}^2} = 6.72 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal:

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{133021683.4 \text{ N}}{42875000 \text{ mm}^3} = 3.10 \text{ N/mm}^2$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0.02$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0.02 \times 350 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \\ &= 2450 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380.133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulaangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan D22}}$$

$$n = \frac{2450 \text{ mm}^2}{380.133 \text{ mm}^2} = 6.45 \approx 8 \text{ buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\
 &= 8 \times (1/4 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2) \\
 &= 3041.06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah Y menggunakan tulangan sebesar 8-D22.

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{3041.06 \text{ mm}^2}{122500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 2.482\% < 8\% \text{ (**Memenuhi**)}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{133021683.4 \text{ Nmm}}{0.65} = 204648743.7 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{822798.54 \text{ N}}{0.65} = 1265843.908 \text{ N}$$

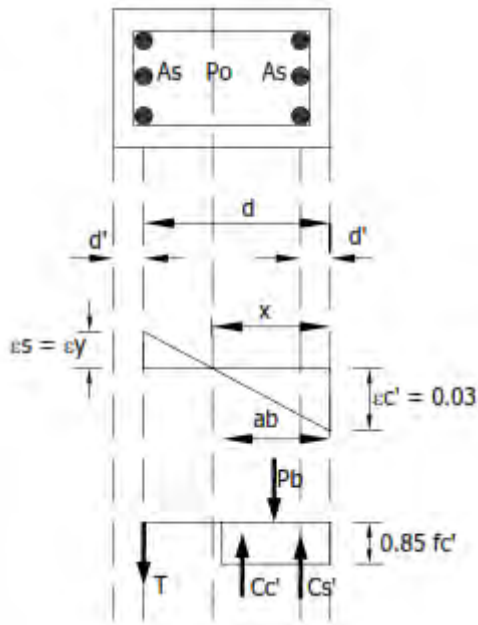
$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{204648743.7 \text{ Nmm}}{1265843.908 \text{ N}} = 161.67 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = (15.24 + 0.03h)$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.5)

$$e \text{ min} = (15.24 + 0.03 \times 350 \text{ mm}) = 25.74 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance



Syarat : $\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = h \text{ kolom} - (\text{decking}) - (\varnothing \text{ geser}) - (1/2 \times \varnothing \text{ lentur})$$

$$= 350 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) = 289 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + (\varnothing \text{ geser}) + (1/2 \times \varnothing \text{ lentur})$$

$$= 40 + 10 + (1/2 \times 22) = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = h \text{ kolom} - (\text{decking}) - (\varnothing \text{ geser}) - (1/2 \times \varnothing \text{ lentur}) - (1/2 \times h \text{ kolom})$$

$$= 350 - 40 - 10 - (1/2 \times 22) - (1/2 \times 450)$$

$$= 114 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + 400)} \times 289 \text{ mm} = 173.4 \text{ mm}$$

$$ab = 0.85 Xb = 0.85 \times 173.4 \text{ mm} = 147.39 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' (fy - 0.85 fc') \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1138877.6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= As \times Fy \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 1216424.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot fc' \cdot b \cdot Xb \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 173.4 = 1315455.8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$\begin{aligned} Pb &= (1315455.8 \text{ N} + 1138877.6 \text{ N}) - 1216424.7 \text{ N} \\ &= 1237908.7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mb &= Pb \times e \text{ balance} \\ &= Cc' (d - d'' - ab/2) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 401766704.4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} eb &= Mb/Pb \\ &= 401766704.4 \text{ Nmm} / 1237908.7 \text{ N} = 324.55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi:

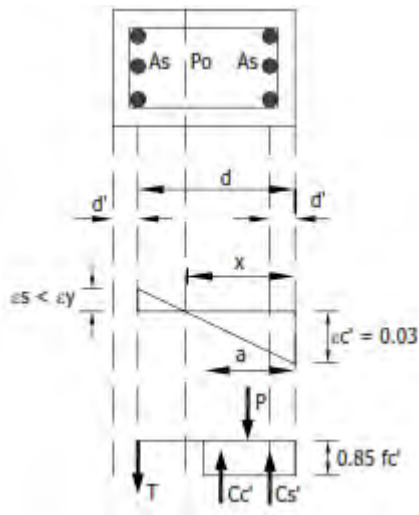
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b$ (Kondisi Tarik Menentukan)

$$\begin{aligned} e_{\min} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\ 25.74 \text{ mm} &< 161.67 \text{ mm} < 324.55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kondisi Tekan Menentukan



Syarat : $e < e_b$

$$161.67 \text{ mm} < 324.55 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Mencari nilai x

$$a = 0.54 d$$

$$0.85 \cdot x = 0.54 \times 289 \text{ mm}$$

$$x = 183.6 \text{ mm}$$

Syarat : $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0.003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0.003 = 0.00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{289 \text{ mm}}{183.6 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 344.44 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.002$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol : } \epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0.00172 &< 0.002 & \textbf{(Memenuhi)} \\ F_s &< F_y \\ 344.44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} & \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0.85 f_c') \\ &= 3041.06 \text{ mm}^2 (400 - (0.85 \times 30)) \\ &= 1138877.6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\ &= 0.85 \times 0.85 \times 30 \times 350 \times 183.6 = 1392835.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$T = 3041.06 \left(\frac{389 \text{ mm}}{247.1 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 = 1047476.8 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V = 0 \rightarrow P &= C_c' + C_s' - T \\ P &= (1392835.5 \text{ N} + 1138877.6 \text{ N}) - 1047476.8 \text{ N} \\ &= 1484236.3 \text{ N} \end{aligned}$$

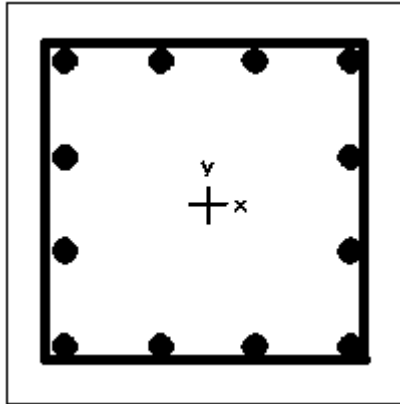
$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P &> P_b \\ 1484236.3 \text{ N} &> 1237908.7 \text{ N} & \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' (d - d'' - a/2) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 384307660.8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\begin{aligned} M_n \text{ Terpasang} &> M_n \\ 384307660.8 \text{ Nmm} &> 204648743.7 \text{ Nmm} & \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 12D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:



Gambar 4. 54 Penampang Kolom K3

❖ **Kontrol jarak spasi tulangan**

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

Syarat:

$S_{maks} \geq S_{sejajar} \rightarrow$ Susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} \rightarrow$ Perbesar penampang kolom

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times \phi_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1} = 54 \text{ mm}$$

$S_{maks} > 40 \text{ mm}$ **(Memenuhi)**

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis

❖ **Cek dengan program PCA Column**

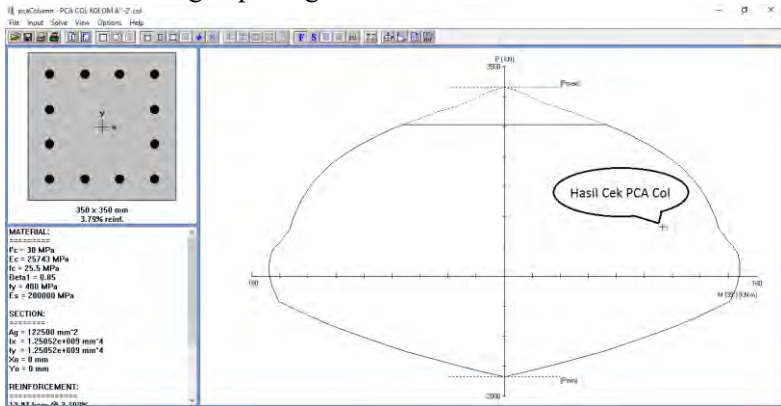
Output terbesar mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCA Column, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut:

Mutu beton (f_c') = 30 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa

Modulus elastisitas = 25743 Mpa

β_1 = 0.85
 b kolom = 350 mm
 h kolom = 350 mm
 Tulangan pasang = 12-D22



Gambar 4. 55 Grafik Akibat Momen pada PCA Column

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615

| Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) |
|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|
| # 3 | 10 | 71 | # 4 | 13 | 129 | # 5 | 16 | 200 |
| # 6 | 19 | 284 | # 7 | 22 | 387 | # 8 | 25 | 510 |
| # 9 | 29 | 645 | # 10 | 32 | 819 | # 11 | 36 | 1006 |
| # 14 | 43 | 1452 | # 18 | 57 | 2581 | | | |

Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.
 $\phi(a) = 0.8$, $\phi(b) = 0.9$, $\phi(c) = 0.65$

Layout: Rectangular
 Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area, $A_s = 4645 \text{ mm}^2$ at 3.79%
 12 #7 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

| No. | Pu kN | Mux kN-m | Muy kN-m | $fM_n x$ kN-m | $fM_n y$ kN-m | fM_n / M_u |
|-----|----------|-------------|-------------|------------------|------------------|--------------|
| 1 | 822.8 | 88.2 | 70.7 | 119.0 | 95.5 | 1.350 |

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 56 Hasil Output pada PCA Column

Berdasarkan output dari PCA Column

$$M_{ux} = 88.2 \text{ kNm} < M_{nx} = 119 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 70.7 \text{ kNm} < M_{ny} = 95.5 \text{ kNm}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 12-D22.

Persentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 12 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 4561.59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{4561.59 \text{ mm}^2}{122500 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 3.724\% < 8\% \text{ (Memenuhi)}$$

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCA Column lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang kolom dan tulangnya. Maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

4.6.3.2 Perhitungan Geser Kolom

❖ Data perencanaan kolom:

- Tinggi kolom yang ditinjau : 4000 mm
- b kolom : 350 mm
- h kolom : 350 mm
- kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) : 400 Mpa
- Kuat leleh tul geser (f_y geser) : 240 Mpa
- Diameter tul lentur (\emptyset lentur) : 22 mm
- Diameter tul geser (\emptyset geser) : 10 mm
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)

- Factor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0.75

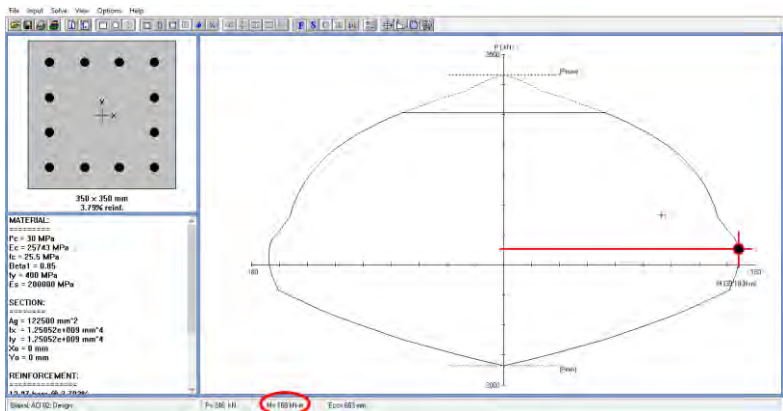
(SNI 03-2847-2013 pasal 11.3.2.(3))

❖ Output SAP

Berdasarkan hasil output SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut:

$$P_u = (1.2D + 1.6L) = 822798.54 \text{ N}$$

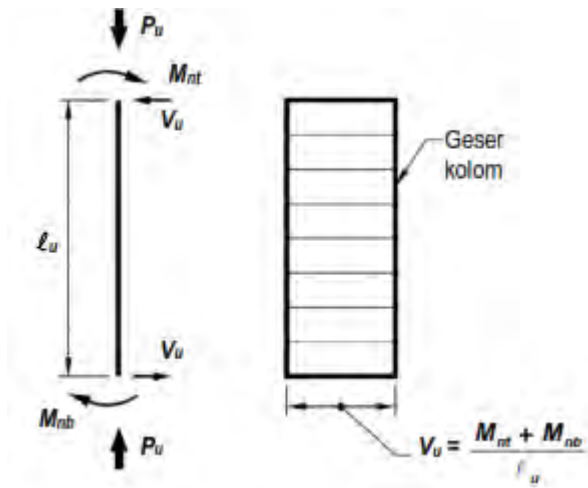
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCA Column sebagai berikut:



Gambar 4. 57 Gaya Lintang Rencana Kolom K3

$$M_{nt} = 168000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 168000000 \text{ Nmm}$$



$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5})$$

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas (top) kolom

M_{nb} = momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{168000000 \text{ Nmm}}{0.75} = 224000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ub}}{\phi} = \frac{168000000 \text{ Nmm}}{0.75} = 224000000 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{224000000 \text{ Nmm} + 224000000 \text{ Nmm}}{4000 \text{ mm}} = 112000 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8.3 Mpa (SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f_c'} \leq 8.3$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq 8.3 \text{ N/mm}^2$$

$$5.477 \text{ N/mm}^2 \leq 8.3 \text{ N/mm}^2$$

(Memenuhi)

Kekuatan geser pada beton:

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{822798.54 \text{ N}}{14 \times (350 \times 350)} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 289$$

$$V_c = 139369.73 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0.33 \times b \times d \\ &= 0.33 \times 350 \times 289 = 33379.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times 350 \times 289 = 182827.05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 V_{s \text{ max}} &= 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times 350 \times 289 = 365654.1 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi penulangan geser:

1. $V_u \leq 0.5 \phi V_c$
 $112000 \text{ N} > 52263.648 \text{ N}$ **(Tidak Memenuhi)**
2. $0.5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$
 $52263.648 \text{ N} < 112000 \text{ N} > 104527.3 \text{ N}$
(Tidak memenuhi)
3. $\phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s \text{ min}})$
 $104527.3 \text{ N} < 112000 \text{ N} < 129561.92 \text{ N}$
(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan kondisi 3.

$$\begin{aligned} V_{s \text{ perlu}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ V_{s \text{ perlu}} &= \frac{112000 \text{ N} - (0.75 \times 139369.73 \text{ N})}{0.75} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 9963.6 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 = 157.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S perlu):

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157.08 \times 240 \times 289}{9963.6 \text{ N}} = 1093.48 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan jarak 140 mm

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3:

$$S_{\text{max}} \leq d/2$$

$$140 \text{ mm} \leq 289 \text{ mm}/2$$

$$140 \text{ mm} \leq 144.5 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$140 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

❖ Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi:

- a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$$

$$140 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- b. 24 kali diameter sengkang ikat

$$S_o \leq 24 \times \emptyset \text{ sengkang}$$

$$140 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur

$$S_o \leq \frac{1}{2} b_w$$

$$140 \text{ mm} \leq 175 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- d. $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$140 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka S_{pakai} menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 140 mm. Maka, dipakai S_o sebesar $\emptyset 10-140$ mm

Panjang L_o tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini:

- a. Seperenam tinggi bersih kolom
 $L_o = 1/6 \times (\text{Tinggi kolom} - 1/2 \times \text{Tinggi balok} - 1/2 \times \text{tinggi sloof})$
 $L_o = 1/6 \times (4000 \text{ mm} - 650 \text{ mm})$
 $L_o = 558.33 \text{ mm}$
 - b. Dimensi terbesar penampang kolom
 $L_o = 350 \text{ mm}$
 - c. $L_o > 450 \text{ mm}$
Maka dipakai L_o sebesar 600 mm
Sehingga dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 140$ mm sejarak 600 mm dari muka hubungan balok kolom.
2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0.5 S_o = 0.5 \times 140 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$
 3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 140 \text{ mm} = 280 \text{ mm}$
Maka pada daerah setelah sejarak $L_o = 600 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 40 \text{ mm}$.

4.6.3.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0.071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 420 \text{ Mpa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

| | |
|--|----------------------------------|
| $0.071 \times f_y \times d_b$ | $\geq 300 \text{ mm}$ |
| $0.071 \times 400 \text{ Mpa} \times 22$ | $\geq 300 \text{ mm}$ |
| 624.8 mm | $\geq 300 \text{ mm}$ (Memenuhi) |

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 700 mm

4.6.3.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2** panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385.6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0.043 f_y) d_b$$

$$= (0,043 \times 400) \times 22 = 378.4 \text{ mm}$$

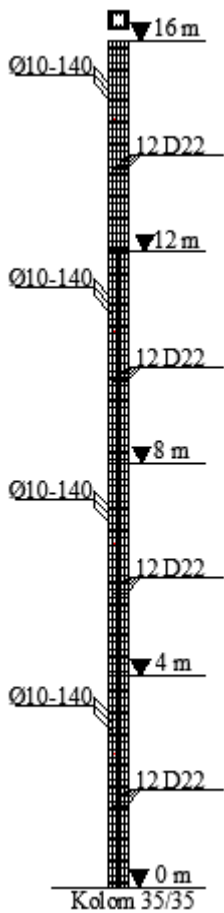
$$\text{Diambil} = 385.6 \text{ mm}$$

Syarat:

$$l_{dc} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1}$$

$$385.6 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 400 mm.



Gambar 4. 58
Penulangan Portal

4.7 Perhitungan Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari suatu struktur bangunan yang dikategorikan sebagai struktur bangunan bawah. Pondasi berfungsi sebagai perantara dalam meneruskan beban bagian atas dan gaya-gaya yang bekerja pada pondasi tersebut ke tanah pendukung dibawahnya tanpa terjadi penurunan tak sama pada sistem strukturnya, juga tanpa terjadinya keruntuhan pada tanah.

Perencanaan pondasi suatu struktur bangunan harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya jenis, kondisi dan struktur tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan atau daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi diatasnya. Dalam perencanaan suatu pondasi yang baik tidak hanya pondasi harus kuat dan aman, namun harus ditinjau dari segi efisien dan memungkinkan pelaksanaannya dilapangan.

4.7.1 Perencanaan Pondasi

Berikut adalah data-data perencanaan pondasi :

- Jenis Pondasi : Pondasi Borpile
- Diameter Tiang Bor : 350 mm
- b kolom : 500 mm
- h kolom : 500 mm
- kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Kuat leleh tul lentur (f_y lentur) : 400 Mpa
- Kuat leleh tul geser (f_y geser) : 240 Mpa
- Diameter tul lentur (\emptyset lentur) : 22 mm
- Diameter tul geser (\emptyset geser) : 12 mm
- Tebal selimut borpile (decking) : 50 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1 (b))
- Tebal selimut pile cap (decking) : 75 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1 (a))
- Factor β_1 : 0.85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))
- Factor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0.8
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2))

4.7.2 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tunggal pada Setiap Lapisan Kedalaman Tanah

❖ Data Tanah Keras Sumenep

Tabel 4. 16 Data Tanah Keras Sumenep

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | (N1) N Rata2 | Fi (t/m ²) |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 0 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 0 | 12 |
| -1 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 29.5 | 12 |
| -2 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 59 | 12 |
| -3 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 50.5 | 12 |
| -4 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 42 | 12 |
| -5 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 44 | 12 |
| -6 | Lempung berlanau berpasir berkerikil | 46 | 12 |
| -7 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 47.5 | 12 |
| -8 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 49 | 12 |
| -9 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 54.5 | 12 |
| -10 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 60 | 12 |
| -11 | Lempung berlanau berpasir | 58.5 | 12 |
| -12 | Lempung berlanau berpasir | 57 | 12 |
| -13 | Lempung berlanau berpasir | 58 | 12 |
| -14 | Lempung berlanau berpasir | 59 | 12 |
| -15 | Lempung berlanau berpasir | 59.5 | 12 |
| -16 | Lempung berlanau berpasir | 60 | 12 |
| -17 | Lempung berlanau berpasir | 53.5 | 12 |
| -18 | Lempung berlanau berpasir | 47 | 12 |
| -19 | Lempung berlanau berpasir | 43 | 12 |
| -20 | Lempung berlanau berpasir | 39 | 12 |
| -21 | Lempung berlanau berpasir | 49.5 | 12 |
| -22 | Lempung berlanau berpasir | 60 | 12 |
| -23 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 60 | 12 |
| -24 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 60 | 12 |
| -25 | Pasir berkerikil berlempung berlanau | 56 | 12 |
| -26 | Lempung berlanau | 52 | 12 |
| -27 | Lempung berlanau | 56 | 12 |
| -28 | Lempung berlanau | 60 | 12 |

| | | | |
|-----|------------------|----|----|
| -29 | Lempung berlanau | 60 | 12 |
| -30 | Lempung berlanau | 60 | 12 |

- ❖ Diameter tiang bor : 0.35 m
- ❖ Keliling Tiang (Up) : $\pi \times D$
: $\pi \times 0.35 \text{ m} = 1.1 \text{ m}$
- ❖ Berat Tiang Bor : $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3$
: $\frac{1}{4} \times \pi \times (0.35 \text{ m})^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3$
: 230.91 kg/m
- ❖ A : $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
: $\frac{1}{4} \times \pi \times (0.35 \text{ m})^2 = 0.10 \text{ m}^2$
- ❖ qd/N : 10.7 (Grafik 6.7 Kazuto Nakazawa)
- ❖ SF : 3
- ❖ Panjang penetrasi tiang sampai ke lapisan pendukung
4D dari ujung tiang : $4 \times 0.35 \text{ m} : 1.4 \text{ m}$
Maka nilai N2 diambil pada jarak 1.4 m dari ujung tiang

Tabel 4. 17 Perhitungan Daya Dukung 1 Tiang setiap Lapisan Tanah

| (li) | li.fi | $\Sigma(\text{li.fi})$ | Rf <small>Up.$\Sigma(\text{li.fi})$</small> | N <small>(N1+N2)/2</small> | qD <small>qd/N.N</small> | Rt <small>qd.A</small> | Ru <small>Rf+Rt</small> | Wp <small>Berat.li</small> | Ra <small>(Ru-Wp)/SF</small> |
|------|-------|------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| m | t/m | t/m | ton | | ton | ton | ton | ton | t/tiang |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 12 | 12 | 13.2 | 29.5 | 315.7 | 30.4 | 43.6 | 0.2 | 15 |
| 2 | 12 | 24 | 26.4 | 59 | 631.3 | 60.7 | 87.1 | 0.5 | 29 |
| 3 | 12 | 36 | 39.6 | 50.5 | 540.4 | 52 | 91.6 | 0.7 | 31 |
| 4 | 12 | 48 | 52.8 | 42 | 449.4 | 43.2 | 96 | 0.9 | 32 |
| 5 | 12 | 60 | 66 | 44 | 470.8 | 45.3 | 111.3 | 1.2 | 37 |
| 6 | 12 | 72 | 79.2 | 46 | 492.2 | 47.4 | 126.5 | 1.4 | 42 |
| 7 | 12 | 84 | 92.4 | 47.5 | 508.3 | 48.9 | 141.3 | 1.6 | 47 |
| 8 | 12 | 96 | 105.6 | 49 | 524.3 | 50.4 | 156 | 1.8 | 52 |
| 9 | 12 | 108 | 118.8 | 54.5 | 583.2 | 56.1 | 174.9 | 2.1 | 58 |
| 10 | 12 | 120 | 131.9 | 60 | 642 | 61.8 | 193.7 | 2.3 | 64 |
| 11 | 12 | 132 | 145.1 | 58.5 | 626 | 60.2 | 205.4 | 2.5 | 68 |
| 12 | 12 | 144 | 158.3 | 57 | 609.9 | 58.7 | 217 | 2.8 | 72 |
| 13 | 12 | 156 | 171.5 | 58 | 620.6 | 59.7 | 231.2 | 3 | 77 |

| | | | | | | | | | |
|----|----|-----|-------|------|-------|------|-------|-----|-----|
| 14 | 12 | 168 | 184.7 | 59 | 631.3 | 60.7 | 245.5 | 3.2 | 81 |
| 15 | 12 | 180 | 197.9 | 59.5 | 636.7 | 61.3 | 259.2 | 3.5 | 86 |
| 16 | 12 | 192 | 211.1 | 60 | 642 | 61.8 | 272.9 | 3.7 | 90 |
| 17 | 12 | 204 | 224.3 | 53.5 | 572.5 | 55.1 | 279.4 | 3.9 | 92 |
| 18 | 12 | 216 | 237.5 | 47 | 502.9 | 48.4 | 285.9 | 4.2 | 94 |
| 19 | 12 | 228 | 250.7 | 43 | 460.1 | 44.3 | 295 | 4.4 | 97 |
| 20 | 12 | 240 | 263.9 | 39 | 417.3 | 40.1 | 304 | 4.6 | 100 |
| 21 | 12 | 252 | 277.1 | 49.5 | 529.7 | 51 | 328 | 4.8 | 108 |
| 22 | 12 | 264 | 290.3 | 60 | 642 | 61.8 | 352.1 | 5.1 | 116 |
| 23 | 12 | 276 | 303.5 | 60 | 642 | 61.8 | 365.2 | 5.3 | 12 |
| 24 | 12 | 288 | 316.7 | 60 | 642 | 61.8 | 378.4 | 5.5 | 125 |
| 25 | 12 | 300 | 329.9 | 56 | 599.2 | 57.6 | 387.5 | 5.8 | 128 |
| 26 | 12 | 312 | 343.1 | 52 | 556.4 | 53.5 | 396.6 | 6 | 131 |
| 27 | 12 | 324 | 356.3 | 56 | 599.2 | 57.6 | 413.9 | 6.2 | 136 |
| 28 | 12 | 336 | 369.5 | 60 | 642 | 61.8 | 431.2 | 6.5 | 142 |
| 29 | 12 | 348 | 382.6 | 60 | 642 | 61.8 | 444.4 | 6.7 | 146 |
| 30 | 12 | 360 | 395.8 | 60 | 642 | 61.8 | 457.6 | 6.9 | 151 |

❖ **Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Bor yang Ditentukan**

- Daya Dukung Ijin Tiang
Kedalaman yang ditentukan = 7 m
Ra = 47 ton/tiang

Daya dukung untuk beban sementara (Ra (s))

$$Ra (s) = Ra \times 150\% = 47 \text{ ton} \times 1.5 = 70.5 \text{ ton/tiang}$$

❖ **Kapasitas Daya Dukung Horisontal Pondasi Tiang Bor**

- Ketentuan
 1. Tiang-tiang terbenam di bawah tanah dasar
 2. Nilai N-SPT -2.0 m di bawah muka tanah dasar, diambil nilai N-SPT min = 59 blow/m
 3. Diameter tiang diperhitungkan = 35 cm
 4. Mutu beton = 30 MPa
 5. Modulus elastisitas beton (E) = 257429.6 kg/cm²

$$6. \text{ Momen Inersia Tiang (I)} = \pi/64D^4 = 73543.9 \text{ cm}^4$$

- Koefisien Reaksi Tanah Dasar (k)
 $k = 0.2 \times E_o \times D^{-0.75} \times y^{-0.5}$
- Modulus Elastisitas Tanah
 $E_o = 28 \times N = 28 \times 59 = 1652$
- Deformasi Tiang di Dasar Pile Cap (y)
 $y = 1 \text{ cm (Deformasi horizontal ijin)}$
 $k = 0.2 \times 1652 \times (35 \text{ cm})^{-0.75} \times (1 \text{ cm})^{-0.5}$
 $= 22.96 \text{ kg/cm}^3$
 $\beta = (kD/(4EI))^{0.25}$
 $= (22.96 \times 35/(4 \times 257429.6 \times 73543.9))^{0.25}$
 $= 0.01 \text{ cm}^{-1}$
- Virtual Fixity Point (lm)
 $l_m = \pi/(2 \times \beta) = \pi/(2 \times 0.01 \text{ cm}^{-1}) = 155 \text{ cm} = 1.55 \text{ m}$
- Daya Dukung Gaya Horizontal Tiang Tegak (Ha),
 untuk Pergeseran Sebesar “y”
 $H_a = (k \cdot D \cdot y)/\beta$
 $= (22.96 \text{ kg/cm}^3 \times 35 \text{ cm} \times 1 \text{ cm})/0.01 \text{ cm}^{-1}$
 $= 79.179 \text{ ton/tiang}$
 $SF = 3$
 Gaya horizontal ijin tiang (Ha)
 $H_a = 79.179 \text{ ton/tiang}/SF = 26.4 \text{ ton/tiang}$
- Daya Dukung Momen Lentur pada Kepala Tiang (Ma)
 $M_a = H_a/2\beta$
 $= 26.4 / (2 \times 0.01 \text{ cm}^{-1}) = 13.01 \text{ Ton-m/tiang}$

❖ **Kapasitas Cabut Tiang (Rc)**

$$R_f = U_p \times \Sigma (l_i \times f_i) = 92.36 \text{ ton}$$

$$SF = 3$$

$$W_p = 1.6 \text{ ton}$$

$$R_c = R_f/SF + W_p \\ = 92.36/3 + 1.6 = 32 \text{ ton/tiang}$$

Kapasitas cabut tiang untuk beban sementara ($R_a(s)$):

$$R_c(s) = R_c \times 150\% \\ = 32 \text{ cton/tiang} \times 1.5 = 48 \text{ ton/tiang}$$

4.7.3 Perhitungan Pondasi Tipe 1

4.7.3.1 Output SAP

Diketahui output SAP 2000 pada joint 92

❖ Kombinasi Tegangan Ijin

1. 1D + 1L

$$P = 159676.92 \text{ kg} \\ M_x = 7375.59 \text{ kg-m} \\ M_y = -11424.69 \text{ kg m}$$

2. D+0.75(0.6W)+0.75L+0.75(Lr/R)

$$P = 154437.53 \text{ kg} \\ M_x = 6711.09 \text{ kg-m} \\ M_y = -10179.13 \text{ kg m}$$

3. D+0.75(0.7E)+0.75L+0.75(Lr/R)

$$P = 154436.18 \text{ kg} \\ M_x = 7086.56 \text{ kg-m} \\ M_y = -10213.03 \text{ kg m}$$

4. 0.6D+0.7E

$$P = 78227.28 \text{ kg} \\ M_x = 3190.14 \text{ kg-m} \\ M_y = -3903.67 \text{ kg m}$$

❖ Kombinasi Ultimate

Pada kombinasi Ultimate ini diambil output terbesar:

1. 1.2D+1.6L+0.5R/Lr

$$P = 204718.48 \text{ kg} \\ M_x = 10127.86 \text{ kg-m} \\ M_y = -15711.76 \text{ kg m}$$

4.7.3.2 Perhitungan Kebutuhan Tiang Borpile

1. Perhitungan beban pondasi sebelum ditambah berat sendiri poer

$P_{\max} = 159676.92 \text{ kg} = 159.67692 \text{ ton}$ dari kombinasi (1D + 1L)

$$n = \frac{P_{\max}}{\text{Daya Dukung ijin 1 tiang (Ra)}}$$

$$n = \frac{159.67692 \text{ ton}}{47 \text{ ton}} = 3.4 \approx 4 \text{ tiang}$$

Maka direncanakan tiang borpile sebanyak 4 buah

2. Perencanaan dimensi poer
 Pada perencanaan pondasi borpile dalam menghitung jarak antar pile (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa:
 - Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)
 $S \geq 2.5D$
 $S \geq 2.5 \times 0.35 \text{ m}$
 $S \geq 0.875 \text{ m}$
 Maka dipakai $S = 0.9 \text{ m}$
 - Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer (S')
 $S' \geq 1.5D$
 $S' \geq 1.5 \times 0.35 \text{ m}$
 $S' \geq 0.525 \text{ m}$
 Maka dipakai $S = 0.55 \text{ m}$
 - Ukuran poer
 $\text{Panjang} = 0.9 \text{ m} + (2 \times 0.55 \text{ m}) = 2 \text{ m}$
 $\text{Lebar} = 0.9 \text{ m} + (2 \times 0.55 \text{ m}) = 2 \text{ m}$
 Dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar poer, yaitu panjang = 2 m dan lebar = 2 m
3. Pengecekan ulang kebutuhan tiang borpile

Periksa ulang kebutuhan tiang borpile setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan 0.65 m.

$$P_{\max} = 159.67692 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat poer} &= (2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} \times 2.4 \text{ ton/m}^3) \\ &= 6.42 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$P_{\text{total}} = 159.67692 \text{ ton} + 6.42 \text{ ton} = 165.91692 \text{ ton}$$

$$n = \frac{P_{\text{total}}}{\text{Daya Dukung ijin 1 tiang (Ra)}}$$

$$n = \frac{165.91692 \text{ ton}}{47 \text{ ton}} = 3.53 \approx 4 \text{ tiang}$$

Setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan dimensi (2 m x 2 m) tetap dibutuhkan 4 buah tiang borpile.

4.7.3.3 Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi

Dalam buku “ANALISA DAN DESAIN PONDASI, Jilid 2 cetakan ke-4 karya Joseph E Bowles halaman 343. Perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta = 1 - \text{Arc tag} \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

Dimana:

m = banyak tiang dalam 1 baris

n = banyak baris

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang borpile

$$\eta = 1 - \text{Arc tag} \frac{0.35}{0.9} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right] = 0.764$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ijin borpile}} &= \eta \times R_a \\ &= 0.764 \times 47 \text{ ton/tiang} = 35.9 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ ijin borpile total} &= n \text{ tiang} \times P \text{ ijin borpile} \\
 &= 4 \times 35.9 = 143.61 \text{ ton/tiang}
 \end{aligned}$$

4.7.3.4 Pengecekan Antara P_u max dan P ijin Total

Karena dimensi penampang poer dan tiang borpile sudah diperoleh semuanya maka dilakukan pengecekan akhir Antara $P_u \max \leq P$ ijin total

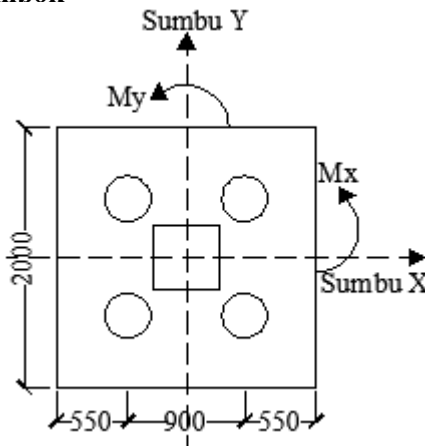
Beban pondasi setelah ditambah berat sendiri tiang borpile dan poer:

$$\begin{aligned}
 P_u \max &= 159.67692 \text{ ton} \\
 \text{Berat sendiri poer} &= 6.24 \text{ ton} \\
 \text{Berat sendiri 4 tiang borpile} &= \underline{6.47 \text{ ton}} \quad + \\
 P_{\text{ijin total}} &= 172.38 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 P_u \max &\leq P \text{ ijin total} \\
 165.917 \text{ ton} &\leq 172.38 \text{ ton} \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

4.7.3.5 Perhitungan Daya Dukung Borpile dalam Kelompok



Gambar 4. 59 Gaya Poer dan Tiang Borpile

Tabel 4. 18 Perhitungan Jarak X dan Y

| No. | X | X ² | Y | Y ² |
|-----|--------------|----------------|--------------|----------------|
| 1 | -0.45 | 0.2025 | 0.45 | 0.2025 |
| 2 | 0.45 | 0.2025 | 0.45 | 0.2025 |
| 3 | -0.45 | 0.2025 | -0.45 | 0.2025 |
| 4 | 0.45 | 0.2025 | -0.45 | 0.2025 |
| | ΣX^2 | 0.81 | ΣY^2 | 0.81 |

Gaya-gaya yang dipikul masing-masing tiang borpil

1. 1D + 1L

$$P = 159676.92 \text{ kg}$$

$$M_x = 7375.59 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -11424.69 \text{ kg m}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{159.677}{4} + \frac{7.375 \times 0.45}{0.81} + \frac{11.424 \times 0.45}{0.81} = 50.36 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{159.677}{4} + \frac{7.375 \times 0.45}{0.81} - \frac{11.424 \times 0.45}{0.81} = 37.67 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{159.677}{4} - \frac{7.375 \times 0.45}{0.81} + \frac{11.424 \times 0.45}{0.81} = 42.17 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{159.677}{4} - \frac{7.375 \times 0.45}{0.81} - \frac{11.424 \times 0.45}{0.81} = 29.47 \text{ T}$$

2. D+0.75(0.6W)+0.75L+0.75(Lr/R)

$$P = 154437.53 \text{ kg}$$

$$M_x = 6711.09 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -10179.13 \text{ kg m}$$

$$P_1 = \frac{154.437}{4} + \frac{6.711 \times 0.45}{0.81} + \frac{10.179 \times 0.45}{0.81} = 47.99 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{154.437}{4} + \frac{6.711 \times 0.45}{0.81} - \frac{10.179 \times 0.45}{0.81} = 36.68 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{154.437}{4} - \frac{6.711 \times 0.45}{0.81} + \frac{10.179 \times 0.45}{0.81} = 40.54 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{154.437}{4} - \frac{6.711 \times 0.45}{0.81} - \frac{10.179 \times 0.45}{0.81} = 29.23 \text{ T}$$

$$3. \quad D+0.75(0.7E)+0.75L+0.75(Lr/R)$$

$$P = 154436.18 \text{ kg}$$

$$M_x = 7086.56 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -10213.03 \text{ kg m}$$

$$P_1 = \frac{154.436}{4} + \frac{7.086 \times 0.45}{0.81} + \frac{10.213 \times 0.45}{0.81} = 48.23 \text{ T}$$

$$P_1 = \frac{154.436}{4} + \frac{7.086 \times 0.45}{0.81} - \frac{10.213 \times 0.45}{0.81} = 36.87 \text{ T}$$

$$P_1 = \frac{154.436}{4} - \frac{7.086 \times 0.45}{0.81} + \frac{10.213 \times 0.45}{0.81} = 40.35 \text{ T}$$

$$P_1 = \frac{154.436}{4} - \frac{7.086 \times 0.45}{0.81} - \frac{10.213 \times 0.45}{0.81} = 28.99 \text{ T}$$

$$4. \quad 0.6D+0.7E$$

$$P = 78227.28 \text{ kg}$$

$$M_x = 3190.14 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -3903.67 \text{ kg m}$$

$$P_1 = \frac{78.227}{4} + \frac{3.190 \times 0.45}{0.81} + \frac{3.903 \times 0.45}{0.81} = 23.5 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{78.227}{4} + \frac{3.190 \times 0.45}{0.81} - \frac{3.903 \times 0.45}{0.81} = 19.16 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{78.227}{4} - \frac{3.190 \times 0.45}{0.81} + \frac{3.903 \times 0.45}{0.81} = 19.95 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{78.227}{4} - \frac{3.190 \times 0.45}{0.81} - \frac{3.903 \times 0.45}{0.81} = 15.62 \text{ T}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah :

$P_1 = 50.36 \text{ T}$ dari kombinasi 1D + 1L

Syarat:

$P_{\text{max}} (1 \text{ tiang}) < \text{Daya Dukung } 1 \text{ tiang bor}$

$50.36 \text{ ton/tiang} < 70.5 \text{ ton/tiang}$ **(Memenuhi)**

Maka beban minimum yang diterima satu tiang pancang adalah :

$P_2 = 15.62 \text{ T}$ dari kombinasi 0.6D+0.7E

Syarat:

$P_{\text{min}} (1 \text{ tiang}) < \text{Kapasitas Cabut } 1 \text{ tiang bor}$

$15.62 \text{ ton/tiang} < 48 \text{ ton/tiang}$ **(Memenuhi)**

4.7.3.6 Perhitungan Tulangan Borpile

Berdasarkan output SAP beban ultimate pada joint 92

As B-5 diperoleh:

1. $1.2D+1.6L+0.5R/Lr$

$P = 204718.48 \text{ kg}$

$M_x = 10127.86 \text{ kg-m}$

$M_y = -15711.76 \text{ kg m}$

$\Sigma P = 204.718 \text{ ton} + \text{Berat sendiri poer}$

$= 204.718 \text{ ton} + 6.24 \text{ ton} = 210.958 \text{ ton}$

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\Sigma X^2}$$

$$P_1 = \frac{210.958}{4} + \frac{10.127 \times 0.45}{0.81} + \frac{15.711 \times 0.45}{0.81} = 67.1 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{210.958}{4} + \frac{10.127 \times 0.45}{0.81} - \frac{15.711 \times 0.45}{0.81} = 49.64 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{210.958}{4} - \frac{10.127 \times 0.45}{0.81} + \frac{15.711 \times 0.45}{0.81} = 55.84 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{210.958}{4} - \frac{10.127 \times 0.45}{0.81} - \frac{15.711 \times 0.45}{0.81} = 38.38 \text{ T}$$

❖ Aksial

$$P_u = P_1 = 670949.64 \text{ N}$$

❖ Momen

$$M_u X = (30834.48 \text{ kg} \times 10^4)/2 = 77086200 \text{ Nmm}$$

$$M_u Y = (33876.53 \text{ kg} \times 10^4)/2 = 84691325 \text{ Nmm}$$

$$M_{\max} = 84691325 \text{ Nmm}$$

❖ Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi

$$\mu_h = D_{\text{tiang}} - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}}$$

$$= 350 - (2 \times 50) - (2 \times 12) - 22 = 204 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{\mu_h}{D_{\text{tiang}}} = \frac{204 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 0.58 \approx 0.6$$

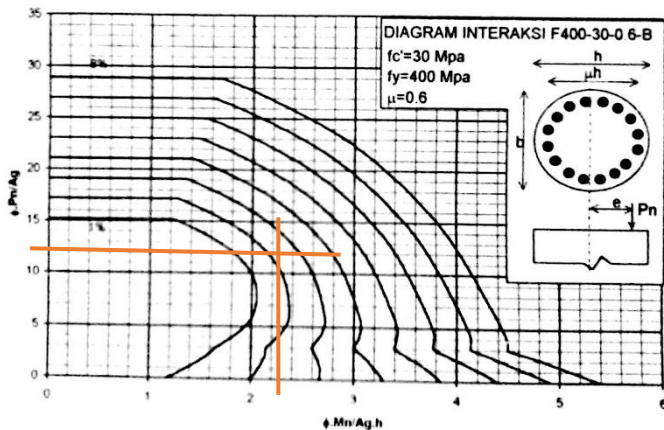
Sumbu vertikal:

$$y = \frac{P_u}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{670949.64 \text{ N}}{96211.275 \text{ mm}^2} = 6.974 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal :

$$x = \frac{M_u}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times h} = \frac{84691325 \text{ Nmm}}{33673946.3 \text{ mm}^3} = 2.52 \text{ N/mm}^2$$

DIAGRAM INTERAKSI
F400-30-0,6-B



Berdasarkan diagram interaksi didapatkan nilai:

$$\rho = 3\% = 0.03$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \text{ perlu} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0.03 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 \\ &= 2886.34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba memakai tulangan 12-D22

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 \\ &= 4561.593 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$4561.593 \text{ mm}^2 > 2886.34 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

❖ Cek dengan Program PCA Column

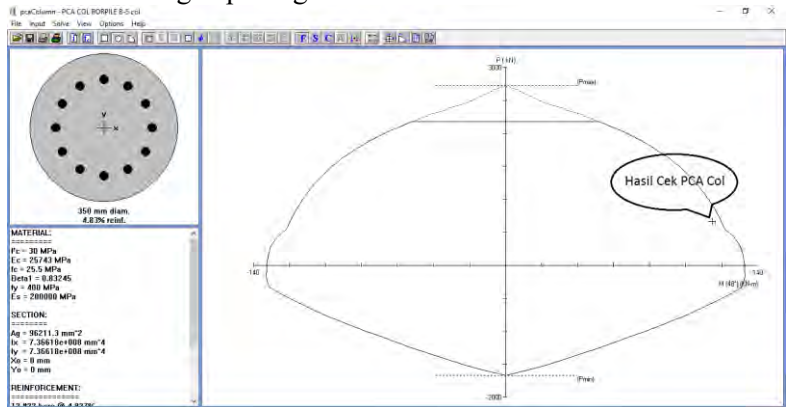
Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCA Column, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut:

$$\text{Mutu beton (fc')} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Modulus elastisitas} = 25742.96 \text{ Mpa}$$

β_1 = 0.85
 Diameter Borpile = 350 mm
 Mux = 77.09 kNm
 Muy = 84.69 kNm
 Pu = 670.95 N
 Tulangan pasang = 12-D22



Gambar 4. 60 Grafik Akibat Momen pada PCA Col

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615M

| Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) |
|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|
| # 10 | 10 | 71 | # 13 | 13 | 129 | # 16 | 16 | 199 |
| # 19 | 19 | 284 | # 22 | 22 | 387 | # 25 | 25 | 510 |
| # 29 | 29 | 645 | # 32 | 32 | 819 | # 36 | 36 | 1006 |
| # 43 | 43 | 1452 | # 57 | 57 | 2581 | | | |

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #13 with larger bars.
 $\phi(a) = 0.8$, $\phi(b) = 0.9$, $\phi(c) = 0.65$

Layout: Circular
 Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
 Total steel area, $A_s = 4644 \text{ mm}^2$ at 4.83%
 12 #22 Cover = 50 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

| No. | Pu kN | Mux kN-m | Muy kN-m | fM_{nx} kN-m | fM_{ny} kN-m | fM_n/M_u |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|------------|
| 1 | 671.0 | 77.1 | 84.7 | 80.6 | 88.5 | 1.045 |

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 61 Hasil Output pada PCA Col

Berdasarkan output dari PCA Column
 $M_{ux} = 77.09 \text{ kNm} < M_{nx} = 80.6 \text{ kNm}$
 $M_{uy} = 84.69 \text{ kNm} < M_{ny} = 88.5 \text{ kNm}$

Maka perencanaan dipasang tulangan borpile sebanyak 12-D22.

Persentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 12 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 12 \times 1/4 \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 \\ &= 4561.593 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{A_s \text{ pasang}}{\text{Luas Penampang Pile}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{4561.593 \text{ mm}^2}{96211.275 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 4.741\% < 8\%$$

(Memenuhi)

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCA Column lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang borpile dan tulangannya. Maka perhitungan kebutuhan tulangan borpile memenuhi.

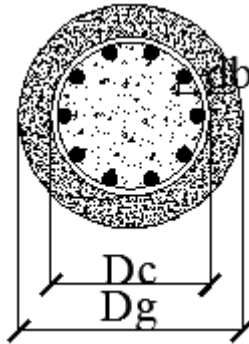
4.7.3.7 Perhitungan Geser Spiral

❖ Direncanakan :

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| F_c' | : 30 Mpa |
| F_y geser | : 240 Mpa |
| Tulangan Sengkang (\emptyset) | : 12 mm |
| D_g | : 350 mm |
| Cover | : 50 mm |
| D_c | : 250 mm |

❖ $A_{sv} = 1/4 \times \pi \times d^2$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 = 113.1 \text{ mm}^2 \\
 \diamondsuit \quad A_g &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_g^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 = 96211.28 \text{ mm}^2 \\
 \diamondsuit \quad A_{ch} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_c^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (200 \text{ mm})^2 = 49087.39 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 62 Penampang Borpile

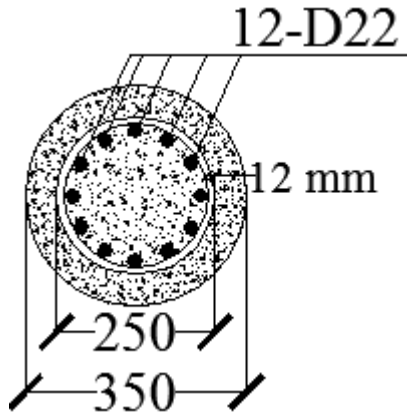
$$\rho_s = 0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(\frac{f_c'}{f_{yt}} \right)$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.9.3

$$\rho_s = 0.45 \times \left(\frac{96211.28 \text{ mm}^2}{49087.39 \text{ mm}^2} - 1 \right) \times \left(\frac{30}{240} \right) = 0.054$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 441 pers.13.9.5.)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{a_s \times \pi \times (D_c - d_b)}{\left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \right) \times \rho_s} \\
 S &= \frac{113.1 \times \pi \times (250 - 12)}{\left(\frac{\pi \times (250)^2}{4} \right) \times 0.054} = 31.9 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 63 Hasil Perhitungan Tulangan Borpile

❖ **Ketentuan jarak spasi spiral sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.10.4**

$$S_{\max} = 75 \text{ mm}$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 30 \text{ mm}$$

4.7.3.8 Panjang Penyaluran Tulangan Borpile

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

$$\frac{0.24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} db \geq 0.043 \times db \times f_y$$

$$\frac{0.24 \times 400 \text{ Mpa}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \geq 0.043 \times 22 \text{ mm} \times 400 \text{ Mpa}$$

$$385.6 \text{ mm} \geq 378.4 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi panjang penyaluran} = 400 \text{ mm}$$

4.7.3.9 Perencanaan Pilecap (Poer)

Merencanakan d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya).

Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana V_{ult} adalah senilai dengan P_u hal

ini terjadi karena pondasi yang digunakan adalah borpile dan geser ponds terjadi di poer, bukan pada pondasi, maka V_c diambil dari perhitungan berikut:

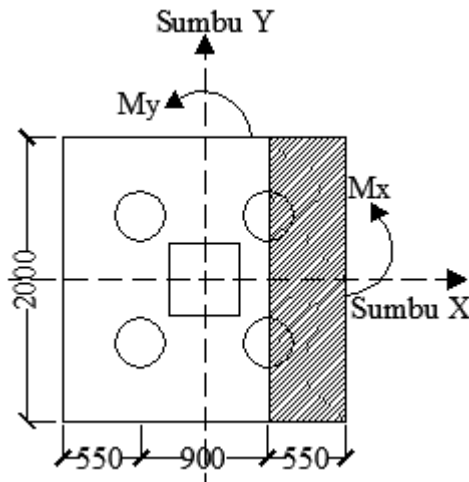
❖ Direncanakan:

| | |
|-----------------------|-----------|
| h rencana | : 650 mm |
| Tebal cover | : 75 mm |
| Dimensi Tulangan Poer | : 22 mm |
| Panjang poer | : 2000 mm |
| Lebar poer | : 2000 mm |
| b kolom | : 500 mm |
| h kolom | : 500 mm |

❖ Cek Perhitungan Geser Ponds 1 Arah

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (d)} &= h - \text{selimut beton} - (1/2 D) \\ &= 650\text{mm} - 75\text{mm} - (1/2 \times 22\text{mm}) \\ &= 564 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \Sigma P \text{ total} / \text{Luasan poer} \\ &= 172382 \text{ kg} / (2000 \times 2000) = 0.43 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4. 64 Bidang Kritis Ponds Satu Arah

$$\begin{aligned}
 L' &= (1/2 \text{ panjang poer}) - (1/2 \text{ b kolom}) - (1/2d) \\
 &= (1/2 \times 2000) - (1/2 \times 500) - (1/2 \times 564) \\
 &= 468 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser V_u (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times b_w \times L' \\
 &= 0.43 \times 2000 \text{ mm} \times 468 \text{ mm} \\
 &= 402480 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton V_c (N)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times \sqrt{30} \text{ Mpa} \times 2000 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\
 &= 1050312.776 \text{ N}
 \end{aligned}$$

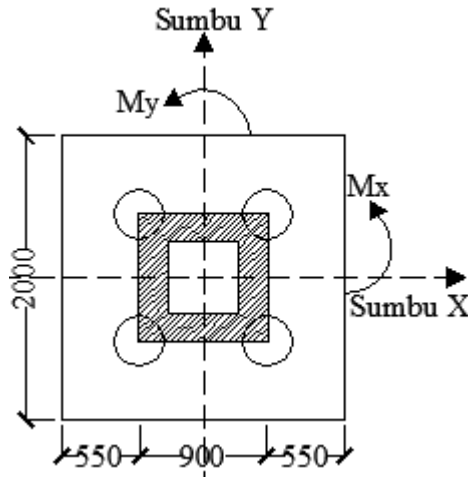
Syarat:

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_c \\
 402480 \text{ N} &\leq 0.75 \times 1050312.776 \text{ N} \\
 402480 \text{ N} &\leq 787734.58 \text{ N} \quad \quad \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka berdasarkan cek geser ponds 1 arah, h rencana telah memenuhi.

❖ **Cek Perhitungan Geser Ponds 2 Arah**

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1** poin (a),(b) dan (c) untuk perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.



Gambar 4. 65 Bidang Kritis Pons Dua Arah

Luas tributary A_t (mm^2)

$$\begin{aligned}
 A_t &= (P \text{ poer} \times L \text{ poer}) - ((h \text{ kolom} + d \text{ poer}) \times (b \text{ kolom} + d \text{ poer})) \\
 &= (2000 \times 2000) - ((500+564) \times (500+564)) \\
 &= (4000000) - (1064 \times 1064) \\
 &= (4000000) - (1132096) = 2867904 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Beban Gay Geser V_u (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 0.43 \times 2867904 \text{ mm}^2 = 1233198.72 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Persamaan 1 SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a)

$$V_c = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d$$

Dimana:

 β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 500/500 = 1$$

 b_o = keliling dari penampang kritis

$$= 4 \times (500 + 2 \times 1/2d)$$

$$= 4 \times (500 + d)$$

$$= 4 \times (500 + 564) = 4256 \text{ mm}$$

$$V_c = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 4256 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}$$

$$V_c = 6705196.764 \text{ N}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1233198.72 \text{ N} \leq 0.75 \times 6705196.764 \text{ N}$$

$$1233198.72 \text{ N} \leq 5028897.573 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Persamaan 2 SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (b)

$$V_c = 0.083 \times \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana:

$a_s = 40$ untuk kolom tengah

$a_s = 30$ untuk kolom tepi

$a_s = 20$ untuk kolom sudut

$$V_c = 0.083 \times \left(\frac{40 \times 564 \text{ mm}}{4256 \text{ mm}} + 2\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 4256 \times 564$$

$$V_c = 2337341.339 \text{ N}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1233198.72 \text{ N} \leq 0.75 \times 2337341.339 \text{ N}$$

$$1233198.72 \text{ N} \leq 1753006.004 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Persamaan 3 SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (c)

$$V_c = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$V_c = 0.33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 4256 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}$$

$$V_c = 4338656.729 \text{ N}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1233198.72 \text{ N} \leq 0.75 \times 4338656.729 \text{ N}$$

$$1233198.72 \text{ N} \leq 3253992.547 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Berdasarkan cek perhitungan geser ponds baik 1 arah ataupun 2 arah tebal poer yang direncanakan telah memenuhi syarat, artinya dengan dimensi poer $p = 2000$ mm, $l = 2000$ mm dan $t = 650$ mm. poer mampu menahan gaya geser 1 arah ataupun 2 arah.

4.7.3.10 Perhitungan Tulangan Lentur Pilecap

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi borpile dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban dari kombinasi ultimate terbesar.

❖ Direncanakan:

| | | |
|---|---|------------------------|
| Mutu beton (F_c') | : | 30 Mpa |
| Mutu baja (F_y) | : | 400 Mpa |
| BJ beton | : | 2400 kg/m ³ |
| Tulangan utama | : | D 22 |
| Selimut beton | : | 75 mm |
| ϕ lentur | : | 0.8 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2)) | | |
| ϕ geser | : | 0.75 |
| Jumlah pile | : | 2 buah |
| Dimensi poer | : | (p) : 2000 mm |
| | : | (h) : 2000 mm |
| Tebal | : | 650 mm |

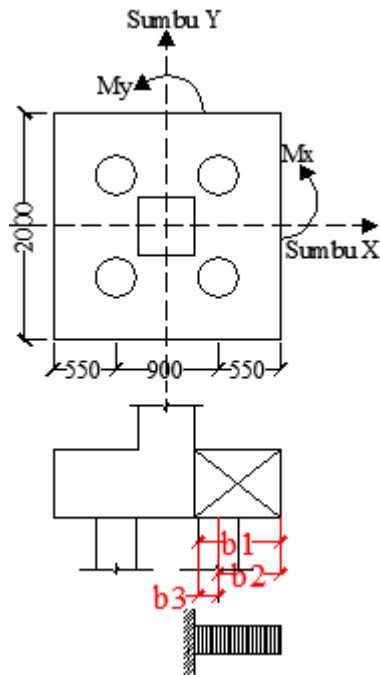
$$dx = h - \text{decking} - 1/2 \text{ d.tul utama}$$

$$= 650 - 75 - (1/2 \times 22) = 564 \text{ mm}$$

$$dy = h - \text{decking} - \text{d.tul utama} - 1/2 \text{ d.tul utama}$$

$$= 650 - 75 - 22 - (1/2 \times 22) = 542 \text{ mm}$$

❖ Penulangan Poer Arah Sumbu X



Gambar 4. 66 Mekanika Gaya pada Poer arah X

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah:

$$b1 = 0.75 \text{ m}$$

$$b2 = 0.55 \text{ m}$$

$$b3 = 0.2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_u (\text{berat poer}) &= h \text{ poer} \times b1 \times \text{tebal poer} \times \text{BJ beton} \\ &= 2 \text{ m} \times 0.75 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2340 \text{ kg} \end{aligned}$$

Output kombinasi ultimate $1.2D + 1.6L + 0.5R/Lr$

$$P = 204718.48 \text{ kg}$$

$$M_x = 10127.86 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -15711.76 \text{ kg m}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{204718.48}{4} + \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} + \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 65535 \text{ Kg}$$

$$P_2 = \frac{204718.48}{4} + \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} - \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 48077.5 \text{ Kg}$$

$$P_3 = \frac{204718.48}{4} - \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} + \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 54281.8 \text{ Kg}$$

$$P_4 = \frac{204718.48}{4} - \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} - \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 36824.3 \text{ Kg}$$

Dipilih nilai p terbesar, yaitu: $P = 65535 \text{ Kg}$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$M_u = (-M_q + M_p)$$

$$= (-q_u \times \frac{1}{2} \times b_1) + (P \times b_3)$$

$$= (-2340 \times \frac{1}{2} \times 0.75 \text{ m}) + ((2 \times 65535) \times 0.3 \text{ m})$$

$$= 25336.49 \text{ kgm} = 253364858 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{253364858 \text{ Nmm}}{0.8} = 316706072.2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{316706072.2 \text{ Nmm}}{2000 \cdot (564)^2} = 0.498$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.024$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 0.498}{400}} \right] = 0.00126$$

Syarat:

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} & < \rho_{\text{perlu}} & < \rho_{\max} \\ 0.0035 & > 0.00126 & < 0.024 \end{array}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka yang dipakai $\rho_{\min} = 0.0035$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_x \\ &= 0.0035 \times 2000 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\ &= 3948 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 650 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan D-22 spasi 150 mm

$$\text{As} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$\text{As pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 22 \text{ mm}^2 \times 2000}{150 \text{ mm}} = 5065.87 \text{ mm}^2$$

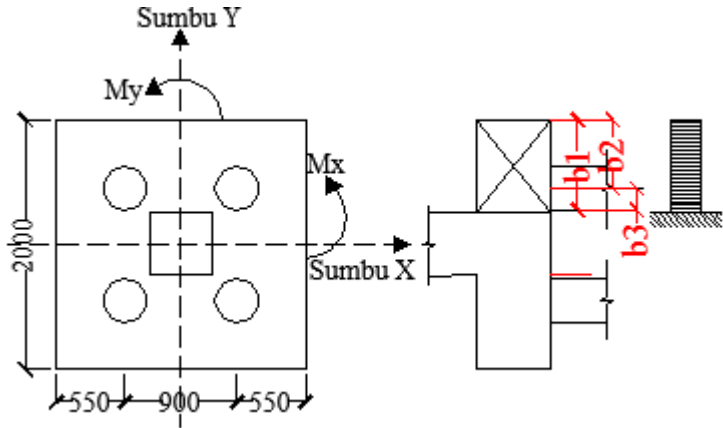
Syarat:

$$\text{As pakai} > \text{As perlu}$$

$$3948 \text{ mm}^2 > 5065.87 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan arah x poer D-22 jarak 150 mm

❖ Penulangan Arah Sumbu Y



Gambar 4. 67 Mekanika Gaya pada Poer arah Y

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah:

$$b1 = 0.75 \text{ m}$$

$$b2 = 0.55 \text{ m}$$

$$b3 = 0.2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_u (\text{berat poer}) &= h \text{ poer} \times b1 \times \text{tebal poer} \times \text{BJ beton} \\ &= 2 \text{ m} \times 0.75 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2430 \text{ kg} \end{aligned}$$

Output kombinasi ultimate $1.2D+1.6L+0.5R/Lr$

$$P = 204718.48 \text{ kg}$$

$$M_x = 10127.86 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -15711.76 \text{ kg m}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{204718.48}{4} + \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} + \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 65535 \text{ Kg}$$

$$P_2 = \frac{204718.48}{4} + \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} - \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 48077.5 \text{ Kg}$$

$$P_3 = \frac{204718.48}{4} - \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} + \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 54281.8 \text{ Kg}$$

$$P_4 = \frac{204718.48}{4} - \frac{10127.86 \times 0.45}{0.81} - \frac{15711.8 \times 0.45}{0.81} = 36824.3 \text{ Kg}$$

Dipilih nilai p terbesar, yaitu: $P = 65535 \text{ Kg}$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$Mu = (-M_q + M_p)$$

$$= (-q_u \times \frac{1}{2} \times b_1) + (P \times b_3)$$

$$= (-2340 \times \frac{1}{2} \times 0.75 \text{ m}) + ((2 \times 65535) \times 0.3 \text{ m})$$

$$= 25336.5 \text{ kgm} = 253364857.78 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{253364857.78 \text{ Nmm}}{0.8} = 316706072.2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{316706072.2 \text{ Nmm}}{2000 \cdot (542)^2} = 0.539$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.024$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 0.539}{400}} \right] = 0.00136$$

Syarat:

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} & < \rho_{\text{perlu}} & < \rho_{\max} \\ 0.0035 & > 0.00136 & < 0.024 \end{array}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka yang dipakai $\rho_{\min} = 0.0035$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_y \\ &= 0.0035 \times 2000 \text{ mm} \times 542 \text{ mm} \\ &= 3794 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 650 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan D-22 spasi 200 mm

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 22 \text{ mm}^2 \times 2000}{200 \text{ mm}} = 3799.4 \text{ mm}^2$$

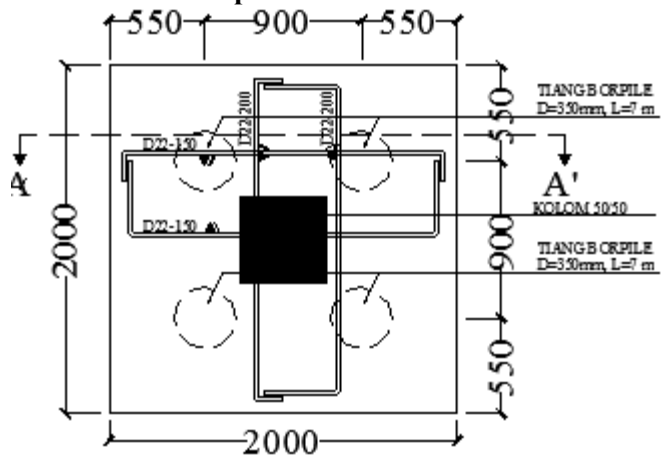
Syarat:

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

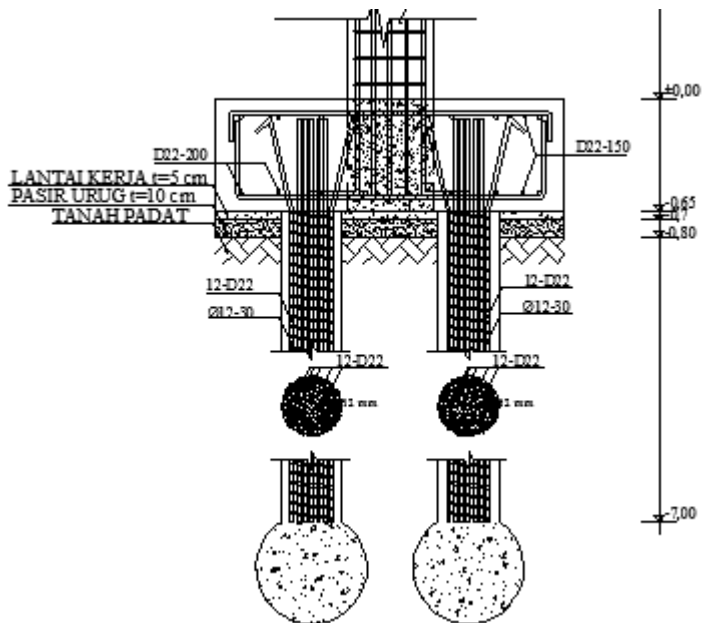
$$3799.4 \text{ mm}^2 > 3794 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan arah y poer D-22 jarak 200 mm

4.7.3.11 Gambar Pondasi Tipe 1



Gambar 4. 68 Penulangan Pilecap P1 Tampak Atas



Gambar 4. 69 Tampak Penulangan Pilecap dan Borpile P1

4.7.4 Perhitungan Pondasi Tipe 2

4.7.4.1 Output SAP

Diketahui output SAP 2000 pada joint 527

❖ Kombinasi Tegangan Ijin

1. $1D + 1L$
 $P = 93334.11 \text{ kg}$
 $M_x = 283.86 \text{ kg-m}$
 $M_y = -2858.53 \text{ kg m}$
2. $D+0.75(0.6W)+0.75L+0.75(L_r/R)$
 $P = 91134.97 \text{ kg}$
 $M_x = 297.13 \text{ kg-m}$
 $M_y = -2691.04 \text{ kg m}$
3. $D+0.75(0.7E)+0.75L+0.75(L_r/R)$
 $P = 91126.99 \text{ kg}$
 $M_x = 167.56 \text{ kg-m}$
 $M_y = -3088.44 \text{ kg m}$
4. $0.6D+0.7E$
 $P = 47583.44 \text{ kg}$
 $M_x = -10.25 \text{ kg-m}$
 $M_y = -1915.74 \text{ kg m}$

❖ Kombinasi Ultimate

Pada kombinasi Ultimate ini diambil output terbesar:

1. $1.2D+1.6L+0.5R/L_r$
 $P = 119282.25 \text{ kg}$
 $M_x = -6589.18 \text{ kg-m}$
 $M_y = -3688.24 \text{ kg m}$

4.7.4.2 Perhitungan Kebutuhan Tiang Borpile

1. Perhitungan beban pondasi sebelum ditambah berat sendiri poer
 $P_{\max} = 93334.11 \text{ kg} = 93.33411 \text{ ton}$ dari kombinasi $(1D + 1L)$

$$n = \frac{P_{\max}}{\text{Daya Dukung ijin 1 tiang } (R_a)}$$

$$n = \frac{93.33411 \text{ ton}}{47 \text{ ton}} = 1.88 \approx 2 \text{ tiang}$$

Maka direncanakan tiang borpile sebanyak 2 buah

2. Perencanaan dimensi poer

Pada perencanaan pondasi borpile dalam menghitung jarak antar pile (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa:

- Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$S \geq 2.5D$$

$$S \geq 2.5 \times 0.35 \text{ m}$$

$$S \geq 0.875 \text{ m}$$

Maka dipakai $S = 0.9 \text{ m}$

- Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer (S')

$$S' = 1.5D$$

$$S' = 1.5 \times 0.35 \text{ m}$$

$$S' = 0.525 \text{ m}$$

Maka dipakai $S' = 0.55 \text{ m}$

- Ukuran poer

$$\text{Panjang} = (2 \times 0.55 \text{ m}) = 1.1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 0.9 \text{ m} + (2 \times 0.55 \text{ m}) = 2 \text{ m}$$

Dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar poer, yaitu panjang = 1.1 m dan lebar = 2 m

3. Pengecekan ulang kebutuhan tiang borpile

Periksa ulang kebutuhan tiang borpile setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan 0.65 m.

$$P_{\text{max}} = 93.33411 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat poer} &= (1.1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} \times 2.4 \text{ ton/m}^3) \\ &= 3.432 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$P_{\text{total}} = 93.33411 \text{ ton} + 3.432 \text{ ton} = 96.76611 \text{ ton}$$

$$n = \frac{P_{\text{total}}}{\text{Daya Dukung ijin 1 tiang (Ra)}}$$

$$n = \frac{96.76611 \text{ ton}}{47 \text{ ton}} = 1.98 \approx 2 \text{ tiang}$$

Setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan dimensi (1.1 m x 2 m) tetap dibutuhkan 2 buah tiang borpile.

4.7.4.3 Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi

Dalam buku “ANALISA DAN DESAIN PONDASI, Jilid 2 cetakan ke-4 karya Joseph E Bowles halaman 343. Perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta = 1 - \text{Arc tag} \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

Dimana:

m = banyak tiang dalam 1 baris

n = banyak baris

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang borpile

$$\eta = 1 - \text{Arc tag} \frac{0.35}{0.9} \left[\frac{(1-1)2 + (2-1)1}{90 \cdot 2 \cdot 1} \right] = 0.882$$

$$P_{\text{ijin borpile}} = \eta \times R_a$$

$$= 0.882 \times 47 \text{ ton/tiang} = 41.45 \text{ ton/m}$$

$$P_{\text{ijin borpile total}} = n \text{ tiang} \times P_{\text{ijin borpile}}$$

$$= 2 \times 41.45 = 124.35 \text{ ton/tiang}$$

4.7.4.4 Pengecekan Antara Pu max dan P ijin Total

Karena dimensi penampang poer dan tiang borpile sudah diperoleh semuanya maka dilakukan pengecekan akhir Antara $P_u \max \leq P_{\text{ijin total}}$

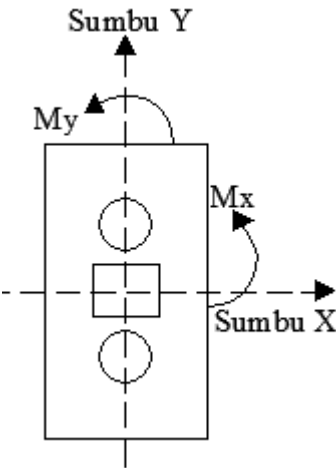
Beban pondasi setelah ditambah berat sendiri tiang borpile dan poer:

$$\begin{aligned} \text{Pu max} &= 93.33411 \text{ ton} \\ \text{Berat sendiri poer} &= 3.432 \text{ ton} \\ \text{Berat sendiri 2 tiang borpile} &= \frac{3.23 \text{ ton}}{2} + \\ \text{Pijin total} &= 100 \text{ ton} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} \text{Pu max} &\leq \text{P ijin total} \\ 96.7661 \text{ ton} &\leq 100 \text{ ton} \end{aligned} \qquad \textbf{(Memenuhi)}$$

4.7.4.5 Perhitungan Daya Dukung Borpile dalam Kelompok



Gambar 4. 70 Gaya Poer dan Tiang Borpile

Tabel 4. 19 Perhitungan Jarak X dan Y

| No. | X | X ² | Y | Y ² |
|-----|------------------|----------------|------------------|----------------|
| 1 | 0 | 0 | 0.45 | 0.2025 |
| 2 | 0 | 0 | -0.45 | 0.2025 |
| | Σ X ² | 0 | Σ Y ² | 0.405 |

Gaya-gaya yang dipikul masing-masing tiang borpile

1. 1D + 1L

$$P = 93334.11 \text{ kg}$$

$$M_x = 283.86 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -2858.53 \text{ kg m}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{93.334}{2} + \frac{0.284 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{2.859 \times 0}{0} = 46.98 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{93.334}{2} - \frac{0.284 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{2.859 \times 0}{0} = 46.35 \text{ T}$$

2. D+0.75(0.6W)+0.75L+0.75(Lr/R)

$$P = 91134.97 \text{ kg}$$

$$M_x = 297.13 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -2691.04 \text{ kg m}$$

$$P_1 = \frac{91.135}{2} + \frac{0.297 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{2.691 \times 0}{0} = 45.9 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{91.135}{2} - \frac{0.297 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{2.691 \times 0}{0} = 45.24 \text{ T}$$

3. D+0.75(0.7E)+0.75L+0.75(Lr/R)

$$P = 91126.99 \text{ kg}$$

$$M_x = 167.56 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -3088.44 \text{ kg m}$$

$$P_1 = \frac{91.127}{2} + \frac{0.168 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{3.088 \times 0}{0} = 45.75 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{91.127}{2} - \frac{0.168 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{3.088 \times 0}{0} = 45.38 \text{ T}$$

$$4. \quad 0.6D+0.7E$$

$$P = 47583.44 \text{ kg}$$

$$M_x = -10.25 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -1915.74 \text{ kg m}$$

$$P_1 = \frac{47.583}{2} - \frac{0.01025 \times 0.45}{0.405} = 23.78 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{47.583}{2} + \frac{0.01025 \times 0.45}{0.405} = 23.803 \text{ T}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah :

$$P_1 = 90.22 \text{ T dari kombinasi 1D + 1L}$$

Syarat:

$$P_{\text{max}} (1 \text{ tiang}) < \text{Daya Dukung 1 tiang bor}$$

$$46.98 \text{ ton/tiang} < 70.5 \text{ ton/tiang} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka beban minimum yang diterima satu tiang pancang adalah :

$$P_2 = 23.78 \text{ T dari kombinasi 0.6D+0.7E}$$

Syarat:

$$P_{\text{min}} (1 \text{ tiang}) < \text{Kapasitas Cabut 1 tiang bor}$$

$$23.78 \text{ ton/tiang} < 48 \text{ ton/tiang} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

4.7.4.6 Perhitungan Tulangan Borpile

Berdasarkan output SAP beban ultimate pada joint 527

As B-5 diperoleh:

$$1. \quad 1.2D+1.6L+0.5R/L_r$$

$$P = 119282.25 \text{ kg}$$

$$M_x = -6589.18 \text{ kg-m}$$

$$M_y = -3688.24 \text{ kg m}$$

$$\Sigma P = 119.282 \text{ ton} + \text{Berat sendiri poer}$$

$$= 119.282 \text{ ton} + 3.432 \text{ ton} = 122.71425 \text{ ton}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{122.714}{2} - \frac{6.589 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{3.688 \times 0}{0} = 54.04 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{122.714}{2} + \frac{6.589 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{3.688 \times 0}{0} = 68.68 \text{ T}$$

❖ Aksial

$$P_u = P_1 = 686784.3611 \text{ N}$$

❖ Momen

$$M_u X = (7089.76 \text{ kg} \times 10^4)/2 = 35448800 \text{ Nmm}$$

$$M_u Y = (18396.57 \text{ kg} \times 10^4)/2 = 91982850 \text{ Nmm}$$

$$M_{\max} = 91982850 \text{ Nmm}$$

❖ Menentukan ρ perlu dari diagram interaksi

$$\begin{aligned} \mu_h &= D \text{ tiang} - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 350 - (2 \times 50) - (2 \times 12) - 22 = 204 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu_h}{D \text{ tiang}} = \frac{204 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 0.58 \approx 0.6$$

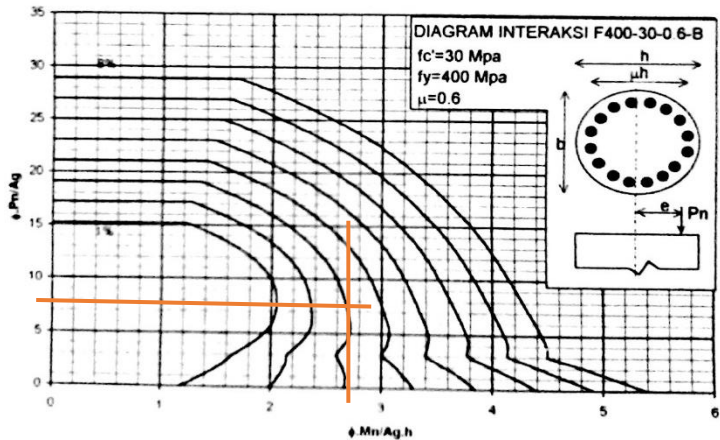
Sumbu vertikal:

$$y = \frac{P_u}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{686784.3611 \text{ N}}{96211.275 \text{ mm}^2} = 7.14 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal :

$$x = \frac{M_u}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times x_h} = \frac{91982850 \text{ Nmm}}{33673946.3 \text{ mm}^3} = 2.73 \text{ N/mm}^2$$

DIAGRAM INTERAKSI
F400-30-0,6-B



Berdasarkan diagram interaksi didapatkan nilai:

$$\rho = 3\% = 0.03$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \text{ perlu} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0.03 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 \\ &= 2886.34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba memakai tulangan 9-D22

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 \\ &= 3421.194 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

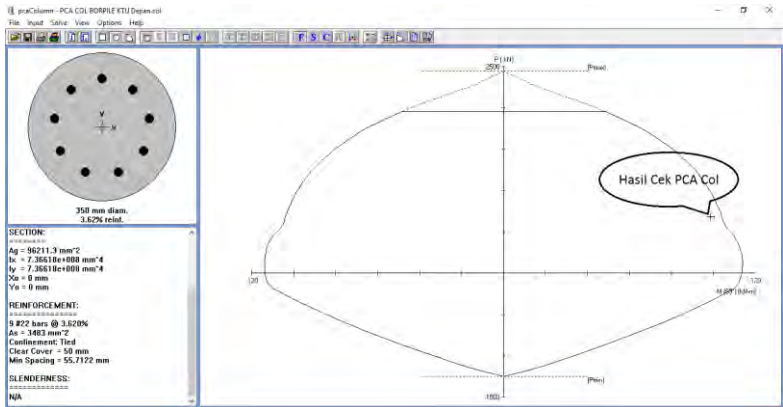
$$3421.194 \text{ mm}^2 > 2886.34 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

❖ Cek dengan Program PCA Column

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCA Column, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut:

| | |
|-----------------------|----------------|
| Mutu beton (f'_c) | = 30 Mpa |
| Mutu baja (f_y) | = 400 Mpa |
| Modulus elastisitas | = 25742.96 Mpa |
| Diameter Borpile | = 350 mm |

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= 35.45 \text{ kNm} \\
 M_{uy} &= 91.98 \text{ kNm} \\
 P_u &= 686.82 \text{ kN} \\
 \text{Tulangan pasang} &= 9\text{-D22}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 71 Grafik akibat momen pada PCA Col

Reinforcement:

| Rebar Database: ASTM A615M | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|
| Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) | Size | Diam (mm) | Area (mm ²) |
| # 10 | 10 | 71 | # 13 | 13 | 129 | # 16 | 16 | 199 |
| # 19 | 19 | 284 | # 22 | 22 | 387 | # 25 | 25 | 510 |
| # 29 | 29 | 645 | # 32 | 32 | 819 | # 36 | 36 | 1006 |
| # 43 | 43 | 1452 | # 57 | 57 | 2581 | | | |

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #13 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Circular
Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)
Total steel area, As = 3483 mm² at 3.62%
9 #22 Cover = 50 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

| No. | Pu kN | Mux kN-m | Muy kN-m | fMnx kN-m | fMny kN-m | fMn/Mu |
|-----|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------|
| 1 | 686.8 | 35.5 | 92.0 | 37.4 | 96.9 | 1.054 |

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 72 Hasil Cek pada PCA Col

Berdasarkan output dari PCA Column
 $M_{ux} = 35.45 \text{ kNm} < M_{nx} = 37.4 \text{ kNm}$
 $M_{uy} = 91.98 \text{ kNm} < M_{ny} = 96.9 \text{ kNm}$

Maka perencanaan dipasang tulangan borpile sebanyak 9-D22.

Persentase tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 9 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ &= 9 \times 1/4 \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 \\ &= 3421.194 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{\text{As pasang}}{\text{Luas Penampang Pile}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = \frac{3421.194 \text{ mm}^2}{96211.275 \text{ mm}^2} \times 100\%$$

$$\% \text{ Tulangan Terpasang} = 3.556\% < 8\%$$

(Memenuhi)

Kesimpulan:

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCA Column lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual (M_u manual) oleh penampang borpile dan tulangannya. Maka perhitungan kebutuhan tulangan borpile memenuhi.

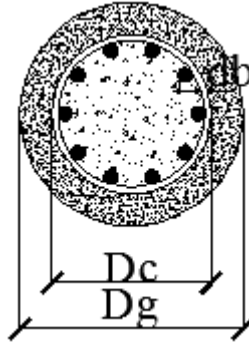
4.7.4.7 Perhitungan Geser Spiral

❖ Direncanakan :

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| F_c' | : 30 Mpa |
| F_y geser | : 240 Mpa |
| Tulangan Sengkang (\emptyset) | : 12 mm |
| D_g | : 350 mm |
| Cover | : 50 mm |
| D_c | : 250 mm |

❖ $A_{sv} = 1/4 \times \pi \times d^2$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 = 113.1 \text{ mm}^2 \\
 \diamondsuit \quad A_g &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_g^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (350 \text{ mm})^2 = 96211.28 \text{ mm}^2 \\
 \diamondsuit \quad A_{ch} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_c^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (200 \text{ mm})^2 = 49087.39 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



$$\rho_s = 0.45 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(\frac{f_c'}{f_{yt}} \right)$$

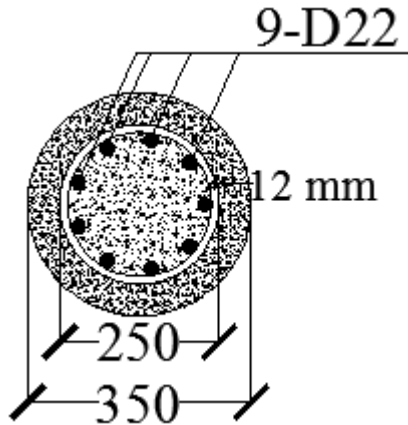
SNI 03-2847-2013 pasal 10.9.3

$$\rho_s = 0.45 \times \left(\frac{96211.28 \text{ mm}^2}{49087.39 \text{ mm}^2} - 1 \right) \times \left(\frac{30}{240} \right) = 0.054$$

(DESAIN BETON BERTULANG; CK Wang & C.G. Salmon Jilid 1 hal 441 pers.13.9.5.)

$$S = \frac{a_s \times \pi \times (D_c - d_b)}{\left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \right) \times \rho_s}$$

$$S = \frac{113.1 \times \pi \times (250 - 12)}{\left(\frac{\pi \times (250)^2}{4} \right) \times 0.054} = 31.9 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$$



Gambar 4. 73 Gambar Hasil Perhitungan Tulangan Borpile

❖ **Ketentuan jarak spasi spiral sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.10.4**

$$S_{\max} = 75 \text{ mm}$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 30 \text{ mm}$$

4.7.4.8 Panjang Penyaluran Tulangan Borpile

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3

$$\frac{0.24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} db \geq 0.043 \times db \times f_y$$

$$\frac{0.24 \times 400 \text{ Mpa}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \times 22 \text{ mm} \geq 0.043 \times 22 \text{ mm} \times 400 \text{ Mpa}$$

$$385.6 \text{ mm} \geq 378.4 \text{ mm}$$

Jadi panjang penyaluran = 400 mm

4.7.4.9 Perencanaan Pilecap (Poer)

Merencanakan d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya).

Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana V_{ult} adalah senilai dengan P_u hal ini terjadi karena pondasi yang digunakan adalah borpile dan geser pons terjadi di poer, bukan pada pondasi, maka V_c diambil dari perhitungan berikut:

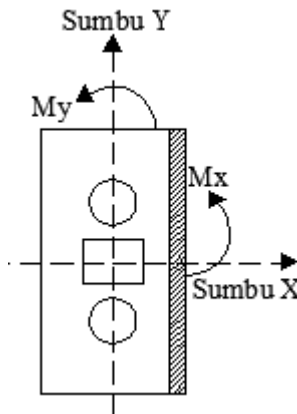
❖ Direncanakan:

| | |
|-----------------------|-----------|
| h rencana | : 650 mm |
| Tebal cover | : 75 mm |
| Dimensi Tulangan Poer | : 22 mm |
| Panjang poer | : 1100 mm |
| Lebar poer | : 2000 mm |
| b kolom | : 500 mm |
| h kolom | : 500 mm |

❖ Cek Perhitungan Geser Pons 1 Arah

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (d)} &= h - \text{selimut beton} - (1/2 D) \\ &= 650\text{mm} - 75\text{mm} - (1/2 \times 22\text{mm}) \\ &= 564 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \Sigma P_{\text{total}} / \text{Luasan poer} \\ &= 99998.81 \text{ kg} / (1100 \times 2000) = 0.45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4. 74 Bidang Kritis Pons Satu Arah (1)

$$\begin{aligned}
 L'1 &= (1/2 \text{ panjang poer}) - (1/2 b \text{ kolom}) - (1/2 d) \\
 &= (1/2 \times 1100) - (1/2 \times 500) - (1/2 \times 564) \\
 &= 18 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser Vu1 (N)

$$\begin{aligned}
 Vu &= Pu \times \text{lebar poer} \times L'1 \\
 &= 0.45 \times 2000 \text{ mm} \times 18 \text{ mm} \\
 &= 16200 \text{ N}
 \end{aligned}$$

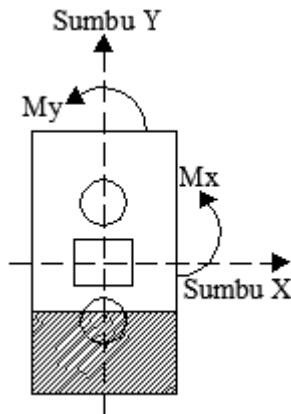
Berasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton Vc (N)

$$\begin{aligned}
 Vc &= 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times bw \times d \\
 &= 0.17 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 2000 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\
 &= 1050312.776 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
 Vu &\leq \phi Vc \\
 16200 \text{ N} &\leq 0.75 \times 1050312.776 \text{ N} \\
 16200 \text{ N} &\leq 787734.5822 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 75 Bidang Kritis Pons Satu Arah (2)

$$\begin{aligned}
 L'2 &= (1/2 \text{ lebar poer}) - (1/2 b \text{ kolom}) - (1/2 d) \\
 &= (1/2 \times 2000) - (1/2 \times 500) - (1/2 \times 414) \\
 &= 543 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser V_{u2} (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times \text{panjang poer} \times L'^2 \\
 &= 0.451 \times 1100 \text{ mm} \times 543 \text{ mm} \\
 &= 269382.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton V_c (N)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0.17 \times \sqrt{30} \text{ Mpa} \times 1100 \text{ mm} \times 414 \text{ mm} \\
 &= 424035.85 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$269382.3 \text{ N} \leq 0.75 \times 424035.85 \text{ N}$$

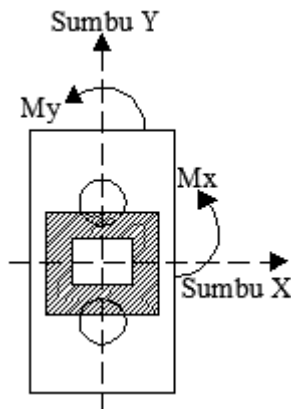
$$269382.3 \text{ N} \leq 318026.89 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka berdasarkan cek geser ponds 1 arah, h rencana telah memenuhi.

❖ **Cek Perhitungan Geser Ponds 2 Arah**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a),(b) dan (c) untuk perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.



Gambar 4. 76 Bidang Kritis Pons Dua Arah

Luas tributary A_t (mm^2)

$$\begin{aligned}
 A_t &= (P \text{ poer} \times L \text{ poer}) - ((h \text{ kolom} + \text{tebal poer}) \times (b \text{ kolom} + \text{tebal poer})) \\
 &= (2000 \times 1100) - ((450+564) \times (350+564)) \\
 &= (2200000) - (1014 \times 914) \\
 &= (2200000) - (926796) = 1273204 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Beban Gay Geser V_u (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 0.45 \times 1273204 \text{ mm}^2 = 572941.8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Persamaan 1 SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (a)

$$V_c = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana:

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 450/350 = 1.29$$

b_o = keliling dari penampang kritis

$$= (2 \times (450 + (2 \times 1/2d))) + (2 \times (350 + (2 \times 1/2d)))$$

$$= (2 \times (450 + d)) + (2 \times (350 + d))$$

$$= (2 \times (450 + 564)) + (2 \times (350 + 564))$$

$$= 3856 \text{ mm}$$

$$V_c = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{1.29}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 3856 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}$$

$$V_c = 5175007.75 \text{ N}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$572941.8 \text{ N} \leq 0.75 \times 5175007.75 \text{ N}$$

$$572941.8 \text{ N} \leq 3881255.813 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Persamaan 2 SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (b)

$$V_c = 0.083 \times \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana:

a_s = 40 untuk kolom tengah

as = 30 untuk kolom tepi

as = 20 untuk kolom sudut

$$V_c = 0.083 \times \left(\frac{40 \times 564 \text{ mm}}{3856 \text{ mm}} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 3856 \times 564$$

$$V_c = 2132221.432 \text{ N}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$572941.8 \text{ N} \leq 0.75 \times 2132221.432 \text{ N}$$

$$572941.8 \text{ N} \leq 1599166.074 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Persamaan 3 SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 poin (c)

$$V_c = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$V_c = 0.33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 3856 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}$$

$$V_c = 3930888.24 \text{ N}$$

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$572941.8 \text{ N} \leq 0.75 \times 3930888.24 \text{ N}$$

$$572941.8 \text{ N} \leq 2948166.18 \text{ N} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Berdasarkan cek perhitungan geser ponds baik 1 arah ataupun 2 arah tebal poer yang direncanakan telah memenuhi syarat, artinya dengan dimensi poer $b = 1100$ mm, $l = 2000$ mm dan $t = 650$ mm. poer mampu menahan gaya geser 1 arah ataupun 2 arah.

4.7.4.10 Perhitungan Tulangan Lentur Pilecap

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi borpile dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban dari kombinasi ultimate terbesar.

❖ Direncanakan:

Mutu beton (f_c') : 30 Mpa

Mutu baja (f_y) : 400 Mpa

| | |
|---|--------------------------|
| BJ beton | : 2400 kg/m ³ |
| Tulangan utama | : D 22 |
| Selimit beton | : 75 mm |
| ϕ lentur | : 0.8 |
| (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2)) | |
| ϕ geser | : 0.75 |
| Jumlah pile | : 2 buah |
| Dimensi poer | : (b) : 1100 mm |
| | : (h) : 2000 mm |
| | Tebal : 650 mm |

$$dx = h - \text{decking} - 1/2 \text{ d.tul utama}$$

$$= 650 - 75 - (1/2 \times 22) = 564 \text{ mm}$$

$$dy = h - \text{decking} - \text{d.tul utama} - 1/2 \text{ d.tul utama}$$

$$= 650 - 75 - 22 - (1/2 \times 22) = 542 \text{ mm}$$

❖ **Penulangan Arah Sumbu X**

Karena jumlah tiang borpile 2 buah pile, maka tulangan arah X berlaku seperti tulangan geser (senggang) pada balok.

Dengan perhitungan gaya lintang sebagai berikut:

Pembebanan yang terjadi pada poer:

$$\begin{aligned} b1 &= \frac{1}{2} \text{ lebar poer} - (1/2 \times b \text{ kolom}) \\ &= 1 \text{ m} - (1/2 \times 0.5 \text{ m}) \\ &= 0.75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qu &= b \text{ poer} \times b1 \times \text{tebal poer} \times bj \text{ beton} \\ &= 1100 \text{ mm} \times 0.75 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1287 \text{ kg} \end{aligned}$$

Output kombinasi ultimate 1.2D+1.6L+0.5R/Lr

$$P = 119282.25 \text{ kg}$$

$$Mx = -6589.18 \text{ kg-m}$$

$$My = -3688.24 \text{ kg m}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{119282}{2} - \frac{6589 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{3688 \times 0}{0} = 52319.81 \text{ kg}$$

$$P_2 = \frac{119282}{2} + \frac{6589 \times 0.45}{0.405} \pm \frac{3688 \times 0}{0} = 66962.44 \text{ kg}$$

P (Gaya yang dipikul masing-masing tiang borpile)

$$P = 66962.44 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V (\text{ gaya lintang}) &= -qu + P \\ &= -1287 \text{ kg} + 66962.44 \text{ kg} \\ &= 65675.44 \text{ kg} = 656754.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times \sqrt{30} \times 1100 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\ &= 577672.0269 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0.33 \times b_w \times d \\ &= 0.33 \times 1100 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\ &= 204732 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ maks}} &= 0.33 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{30} \times 1100 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\ &= 1121363.364 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 V_{s \text{ maks}} &= 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0.66 \times \sqrt{30} \times 1100 \text{ mm} \times 564 \text{ mm} \\ &= 2242726.693 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Penulangan Geser:

$$1. \quad V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$656754.4 \text{ N} > 216627.01 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

$$2. \quad 0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$216627.01 \text{ N} < 656754.4 \text{ N} > 433254.02 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

3. $\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_s \text{ min})$
 $433254.02 \text{ N} < 656754.4 \text{ N} > 586803.02 \text{ N}$
(Tidak Memenuhi)
4. $\phi (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_s \text{ maks})$
 $586803.02 \text{ N} < 656754.4 \text{ N} < 1274276.5 \text{ N}$
(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser tulangan Y diambil berdasarkan kondisi 4:

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{656754.4 \text{ N} - (0.75 \times 577672.0269 \text{ N})}{0.75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 298000.45 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D-22 dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah:

$$A_v = 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 1/4 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \times 2 = 760.27 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser (S perlu):

$$S \text{ perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S \text{ perlu} = \frac{760.27 \times 400 \times 414}{298000.45 \text{ N}} = 576.56 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan jarak 100 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser:

$$\begin{array}{lll} S \text{ maks} & \leq & d/2 \\ 100 \text{ mm} & \leq & 564/2 \\ 100 \text{ mm} & \leq & 282 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Cek Persyaratan SPRMM untuk Kekuatan Geser Balok:

1. Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4. (2)**, Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal kecil

| | | |
|--------|--------|--------------------------|
| S_o | \leq | $8 \times D$ lentur |
| 100 mm | \leq | 8×22 mm |
| 100 mm | $<$ | 176 mm (Memenuhi) |
 - b. 24 kali diameter sengkang ikat

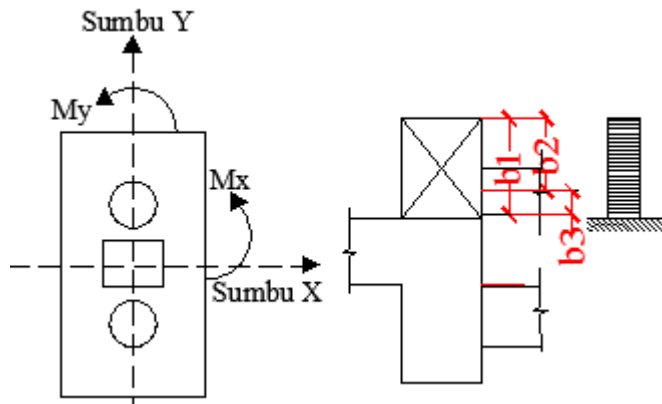
| | | |
|--------|--------|--------------------------------|
| S_o | \leq | $24 \times \emptyset$ sengkang |
| 100 mm | \leq | 24×22 mm |
| 100 mm | $<$ | 528 mm (Memenuhi) |
 - c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur

| | | |
|--------|--------|-----------------------------|
| S_o | \leq | $\frac{1}{4} \times d$ |
| 100 mm | $<$ | $\frac{1}{4} \times 564$ mm |
| 100 mm | $<$ | 141 mm (Memenuhi) |
 - d. S_o

| | | |
|--------|--------|--------------------------|
| S_o | \leq | 300 mm |
| 100 mm | $<$ | 300 mm (Memenuhi) |

Maka dipakai S_o sebesar 100 mm diameter tulangan 22 mm.

❖ Penulangan Poer Arah Sumbu Y



Gambar 4. 77 Mekanika Gaya pada Poer arah Y

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah:

$$b_1 = 0.75 \text{ m}$$

$$b_2 = 0.55 \text{ m}$$

$$b_3 = 0.2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{qu (berat poer)} &= h \text{ poer} \times b_1 \times \text{tebal poer} \times \text{BJ beton} \\ &= 1.1 \text{ m} \times 0.75 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1287 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dipilih nilai p terbesar, yaitu: $P = 66962.44 \text{ Kg}$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= (-M_q + M_p) \\ &= (-q_u \times \frac{1}{2} \times b_1) + (P \times b_3) \\ &= (-1287 \text{ kg} \times \frac{1}{2} \times 0.75 \text{ m}) + (66962.44 \text{ kg} \times 0.2 \text{ m}) \\ &= 12909.862 \text{ kgm} = 129098622 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{129098622 \text{ Nmm}}{0.8} = 161373277.8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{161373277.8 \text{ Nmm}}{2000 \cdot (392)^2} = 0.27$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{F_y} = \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} = 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + F_y} = 0.033$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.024$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{15.69} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 0.27}{400}} \right] = 0.00069$$

Syarat:

$$\begin{array}{lll} \rho_{\min} & < \rho_{\text{perlu}} & < \rho_{\max} \\ 0.0035 & > 0.00069 & < 0.024 \end{array}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka yang dipakai $\rho_{\min} = 0.0035$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_y \\ &= 0.0035 \times 1100 \text{ mm} \times 542 \text{ mm} \\ &= 2086.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \times 650 \text{ mm} = 1300 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan D-22 spasi 200 mm

$$\text{As} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$\text{As pakai} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 22 \text{ mm}^2 \times 1100}{200 \text{ mm}} = 2089.67 \text{ mm}^2$$

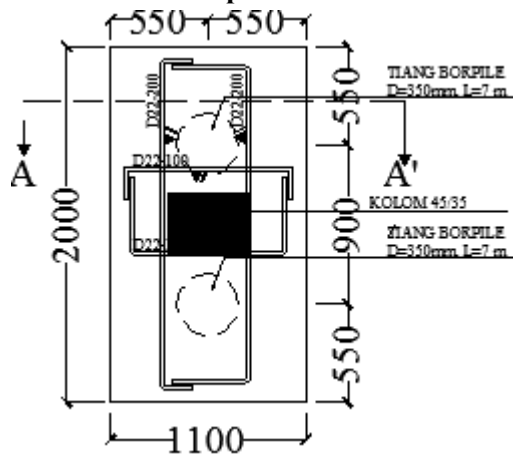
Syarat:

$\text{As pakai} > \text{As perlu}$

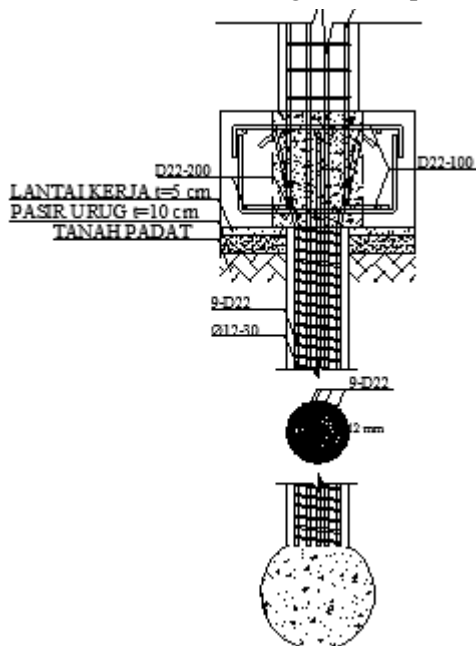
$$2089.67 \text{ mm}^2 > 2086.7 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan arah y poer D-22 jarak 200 mm

4.7.4.11 Gambar Pondasi Tipe 2



Gambar 4. 78 Penulangan Pilecap P2 Tampak Atas



Gambar 4. 79 Tampak Penulangan Pilecap dan Borpile P2


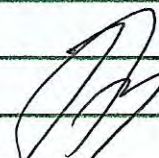
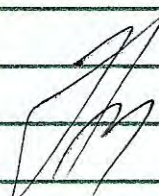
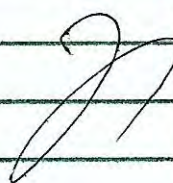
Lampiran 1: Data Uji Tanah

| DRILLING LOG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---|----------------|--------|--------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|-------|-----------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| Project No. : I | | Project : Soil Investigation Rest Area | | | | Type of Drilling : Rotary | | Remarks. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bore Hole No. : III | | Lokasi : Sumenep - Jawa Timur | | | | Date : 6 Agustus 2015 | | UD = Undisturb Sample | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Water Table : - M | | Elevation : ± 0,0 (muka tanah setempat) | | | | Driller : Bandi | | SPT = SPT Test | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scale in m | Elevation | Depth in m | Thickness in m | Legend | Type of Soil | Colour | Relative Density or Consistency | General Remarks | Standard Penetration Test | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | UD / SPT TEST | Blows per each 15 cm | | | N - Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Sample Code | N-Value Blows 30 cm | 15 cm | | 15 cm | 15 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | </ |



ASISTENSI PROYEK AKHIR

Nama : 1 NUR AFIAH 2 ISMI BAROROH
NRP : 1 3113030125 2 3113030132
Judul Tugas Akhir : Perhitungan Struktur Gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah Provinsi Jawa Timur dengan Metode SRPMU
Dosen Pembimbing : Ir. M. Sigit Darmawan, M Eng Sc, PhD

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas | Tanda tangan | Keterangan | | |
|----|------------|--|---|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1 | 11-02-2016 | Dinding shearwall diganti beton biasa |  | | | |
| | | Partisi masuk beban hidup | | | | |
| | | lihat peraturan PPUG terbaru | | B | C | K |
| | | Pelat kecil dilepas tetap ada | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | Ukuran dimensi struktur jangan bervariasi, | | | | |
| 2. | 22-02-2016 | Jika perhitungan gempa sudah ada, apa beban angin perlu dihitung |  | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. | 11-03-2016 | Pada pembebanan kolom kecil tidak dapat gaya gempa |  | | | |
| | | Untuk tinggi lantai atap tetap 4 m, ada tonjolan untuk mesin lift + tangga | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | Untuk menghitung balok anak cek momen dulu, kalau bisa baru dihapus | | | | |
| | | ditah diasumsikan SCM untuk air hujan. | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | Untuk beban pluming & instalasi listrik lihat IBC | | | | |
| 4. | 21-03-2016 | Boleh menggunakan pelat penumpu untuk lift, untuk beban air hujan (ditah) |  | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | asumsi SCM, pada beban gempa beban | | | | |

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI PROYEK AKHIR

Nama : 1 NUR AFIAH 2 ISMI BAROROH
NRP : 1 3113030125 2 3113030132
Judul Tugas Akhir : Perhitungan Struktur Gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah Provinsi Jawa Timur dengan Metode SRPMM
Dosen Pembimbing : Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc, PhD

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas | Tanda tangan | Keterangan | | |
|----|------------|---|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A | 21-03-2016 | air hujan dan beban atap dipilih yang paling Besar. Apabila $T_a < T < T_{aCu}$ tidak masuk Tngai Besar maka | | B | C | K |
| | | perbesar dimensi kolom, Constraint pelat lantai jointnya agar raku. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | 29-04-2016 | Pada kolom lift di atap tidak usah diberi gaya gempa | | B | C | K |
| | | Gaya gempa menggunakan statik ekuivalen, ke kolom luar arah x dan y satu sisi saja dan gempa vertikal dimasukkan vertikal di joint kolom sesuai titik berat / tribut area | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. | 17-05-2016 | Intek membedakan jarak sengkang ukuran sengkang rubah | | B | C | K |
| | | Pondasi diganti berpile | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | Pondasi dihitung di portal saja. | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI PROYEK AKHIR


Nama : 1 2
NRP : 1 2
Judul Tugas Akhir :

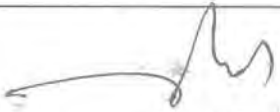

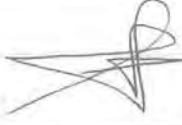
Dosen Pembimbing :

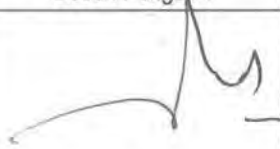

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas | Tanda tangan | Keterangan | | |
|----|-------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 7. | 1 Juni 2016 | Tulangan Pelat diperjelas | | | | |
| | | Tulangan semua ditabelkan | | | | |
| | | Kurang tulangan sloof, pilecap | | B | C | K |
| | | & kolom. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. | 13-06-2016 | - Pondasi Terakhir (urutan) | | | | |
| | | - Pelat di detail balok | | | | |
| | | - Rekapitulasi di detail balok denah | | B | C | K |
| | | - Jarak 1/4 bentang di pelat | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

| | | |
|---|--|---------------------------|
|  | BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR TERAPAN PROGRAM DIPLOMA TEKNIK SIPIL FTSP - ITS | No. Agenda : 11 |
| | PROGRAM DIPLOMA 3 BANGUNAN GEDUNG | Tanggal : 15 Juni 2016 |

| | | | |
|----------------------------|--|---|---|
| Judul Proyek Akhir | | Perhitungan Struktur Gedung BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah) Provinsi Jawa Timur Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah. | |
| Nama Mahasiswa 1 | Nur Afiah | NRP | 3113030125 |
| Nama Mahasiswa 2 | Ismi Baroroh | NRP | 3113030132 |
| Dosen Pembimbing 1 Nip: | Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc, PhD 19630726 198903 1 003 | Tanda tangan |  |
| Dosen Pembimbing 2 Nip: | | Tanda tangan | |

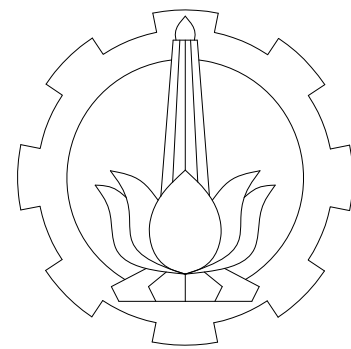
| | |
|--|--|
| URAIAN REVISI | Dosen Penguji |
| - Pembebanan komparasi pmax - " " komparasi distribusi momen pd plat |  Ir. Sukobar, MT NIP 19571201 198601 1 002 |
| - Flow chart desain memisahkan fungsi Atap dan penutup sistem struktur yg dipisah - Notes Atapnya plat dumasak dg penutup - Renda gambar plat; Renda gbr portal - Renda gambar Atap - Gambar plat; Kuda Gbr Atap - Elevasi Portal dan gbr - Gambar pondasi (Potongan); Gambar Portal dan Atap |  Ir. Estutie Maulanie, CES NIP 19530531 198502 2 001 |
| |  Ir. Sungkono, CES NIP 19591130 198601 1 001 |
| | NIP |

| PERSETUJUAN HASIL REVISI | | | | |
|--|---------------------------|---|--|---|
| Dosen Penguji 1 | Dosen Penguji 2 | Dosen Penguji 3 | Dosen Penguji 4 | Dosen Pembimbing |
|  | |  |  |  |
| Ir. Sukobar, MT | Ir. Estutie Maulanie, CES | Ir. Sungkono, CES | | Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc, PhD / |
| NIP 19571201 198601 1 002 | NIP 19530531 198502 2 001 | NIP 19591130 198601 1 001 | NIP | NIP 19630726 198903 1 003/ |

| | | |
|--|---|--------------------------|
| Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Proyek Akhir | Pembimbing 1  Ir. M. Sigit Darmawan, M EngSc, PhD Nip. 19630726 198903 1 003 | Pembimbing 2 Nip. |
|--|---|--------------------------|

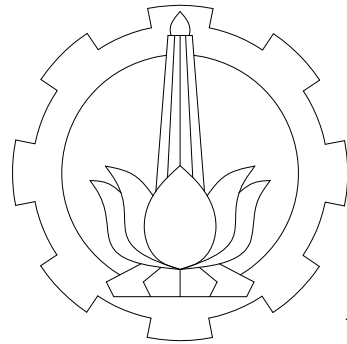
GAMBAR ARSITEKTUR DAN STRUKTUR

Perhitungan Struktur Gedung BPKAD Provinsi Jawa
Timur dengan Metode SRPMM



Dosen Pembimbing
Ir. M. Sigit Darmawan, MSc, PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

Mahasiswa 1 :
Nur Afiah 313030125
Mahasiswa 2 :
Ismi Baroroh 3113030132

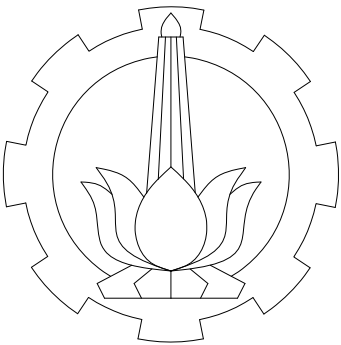


GAMBAR STRUKTUR DAN ARSITEKTUR

Perhitungan Struktur Gedung BPKAD Provinsi Jawa Timur dengan Metode SRPMM

| NO | JUDUL GAMBAR |
|-----|---|
| 1. | Denah Lantai 1 |
| 2. | Denah Lantai 2 |
| 3. | Denah Lantai 3 |
| 4. | Denah Lantai 4 |
| 5. | Denah Lantai Atap |
| 6. | Tampak Barat |
| 7. | Tampak Utara |
| 8. | Tampak Selatan |
| 9. | Potongan A-A |
| 10. | Potongan B-B |
| 11. | Denah Pelat Lantai 2 |
| 12. | Denah Pelat Lantai 3 |
| 13. | Denah Pelat Lantai 4 |
| 14. | Denah Pelat Lantai Atap |
| 15. | Denah Pembesian Pelat Lt.2 Wil. A |
| 16. | Denah Pembesian Pelat Lt.2 Wil. B |
| 17. | Denah Pembesian Pelat Lt.2 Wil. C |
| 18. | Denah Pembesian Pelat Lt.2 Wil. D |
| 19. | Denah Pembesian Pelat Lt.3 Wil. A |
| 20. | Denah Pembesian Pelat Lt.3 Wil. B |
| 21. | Denah Pembesian Pelat Lt.3 Wil. C |
| 22. | Denah Pembesian Pelat Lt.3 Wil. D |
| 23. | Denah Pembesian Pelat Lt.4 & Atap Wil.A |
| 24. | Denah Pembesian Pelat Lt.4 & Atap Wil.B |
| 25. | Denah Pembesian Pelat Lt.4 & Atap Wil.C |
| 26. | Denah Pembesian Pelat Lt.4 & Atap Wil.D |
| 27. | Detail Penulangan Pelat A (4m x 4m) |
| 28. | Detail Penulangan Pelat D (3m x 4m) |
| 29. | Detail Penulangan Pelat B (3m x 5m) |
| 30. | Detail Penulangan Pelat F (3m x 3.5m) |

| NO | JUDUL GAMBAR |
|-----|-------------------------------------|
| 31. | Penulangan Tangga Tipe 1 |
| 32. | Detail Tulangan Tangga Tipe 1 |
| 33. | Penulangan Tangga Tipe 2 |
| 34. | Detail Tulangan Tangga Tipe 2 |
| 35. | Denah Balok Lantai 2 |
| 36. | Denah Balok Lantai 3 |
| 37. | Denah Balok Lantai 4 & Atap |
| 38. | Penulangan Balok Induk & Sloof |
| 39. | Penulangan Balok Anak & Bordes |
| 40. | Rekapitulasi Tulangan Balok |
| 41. | Rekapitulasi Tulangan Balok & Kolom |
| 42. | Denah Kolom Lantai 1 |
| 43. | Denah Kolom Lantai 2,3&4 |
| 44. | Denah Sloof |
| 45. | Denah Pondasi |
| 46. | Detail Tulangan Pondasi 1 |
| 47. | Detail Tulangan Pondasi 2 |
| 48. | Potongan A Portal Memanjang |
| 49. | Potongan B Portal Memanjang |
| 50. | Potongan C Portal Memanjang |
| 51. | Potongan D Portal Memanjang |
| 52. | Potongan E Portal Memanjang |
| 53. | Potongan F Portal Memanjang |
| 54. | Potongan G Portal Memanjang |
| 55. | Potongan H Portal Memanjang |
| 56. | Potongan A Portal Melintang |
| 57. | Potongan B Portal Melintang |
| 58. | Potongan C Portal Melintang |
| 59. | Potongan D Portal Melintang |



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

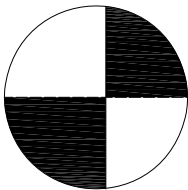
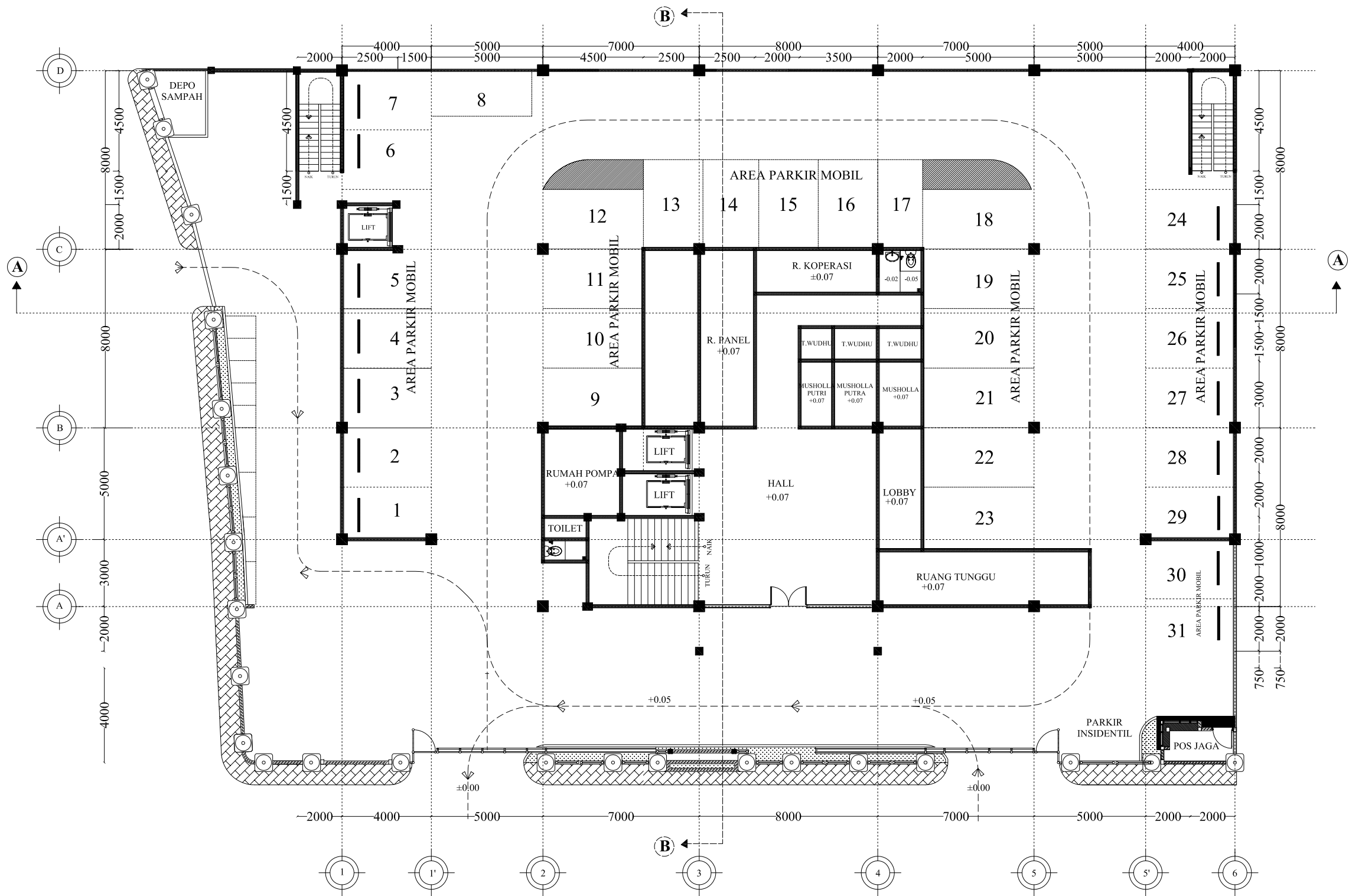
Denah Lantai 1 (h=0 m)

SKALA

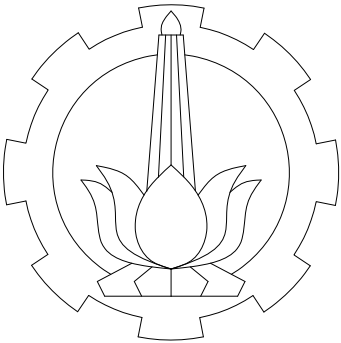
1:200

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS 1 59



DENAH LANTAI 1
Skala 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

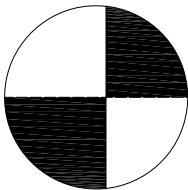
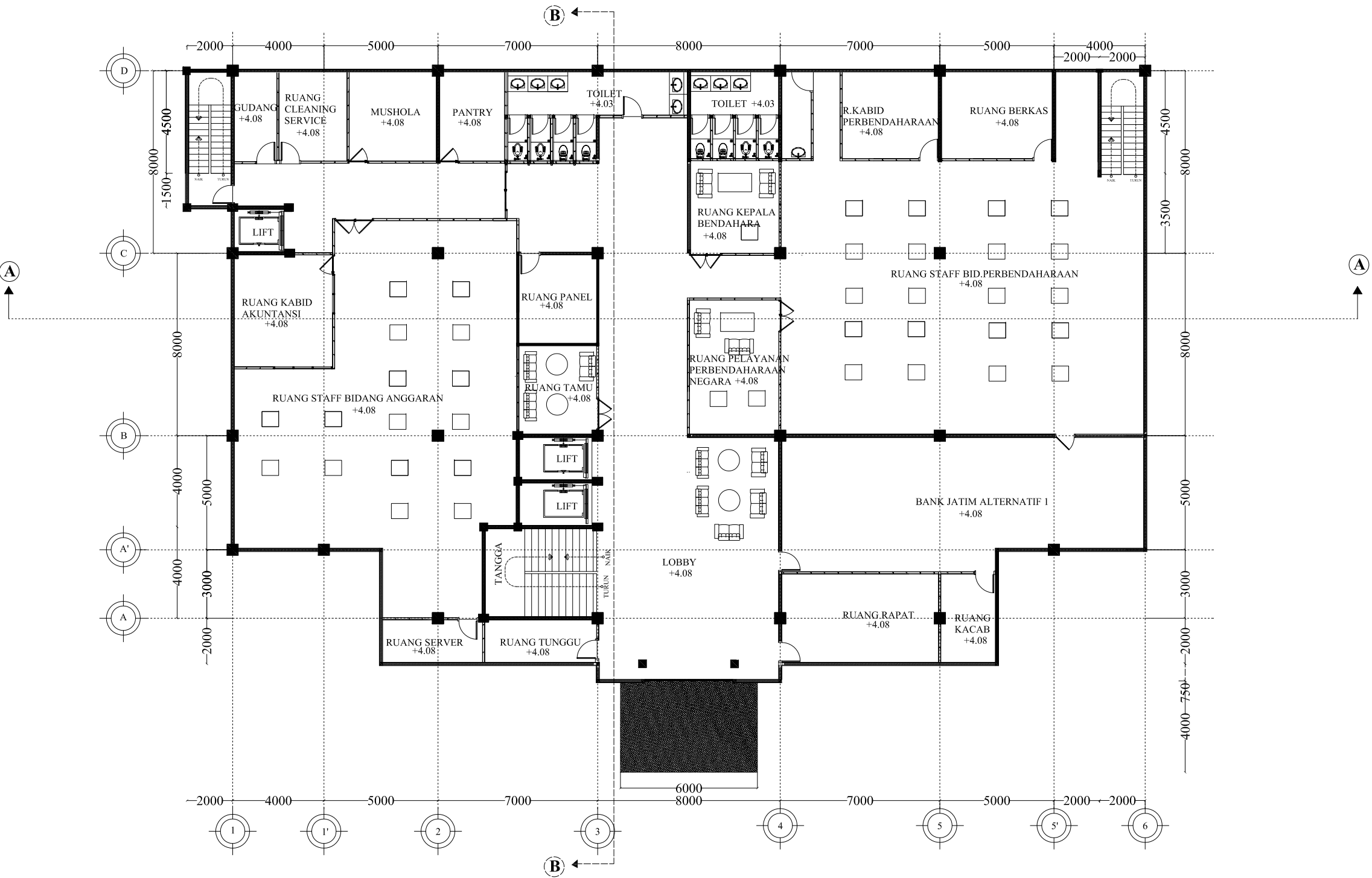
| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

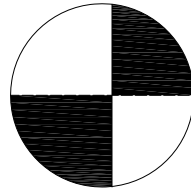
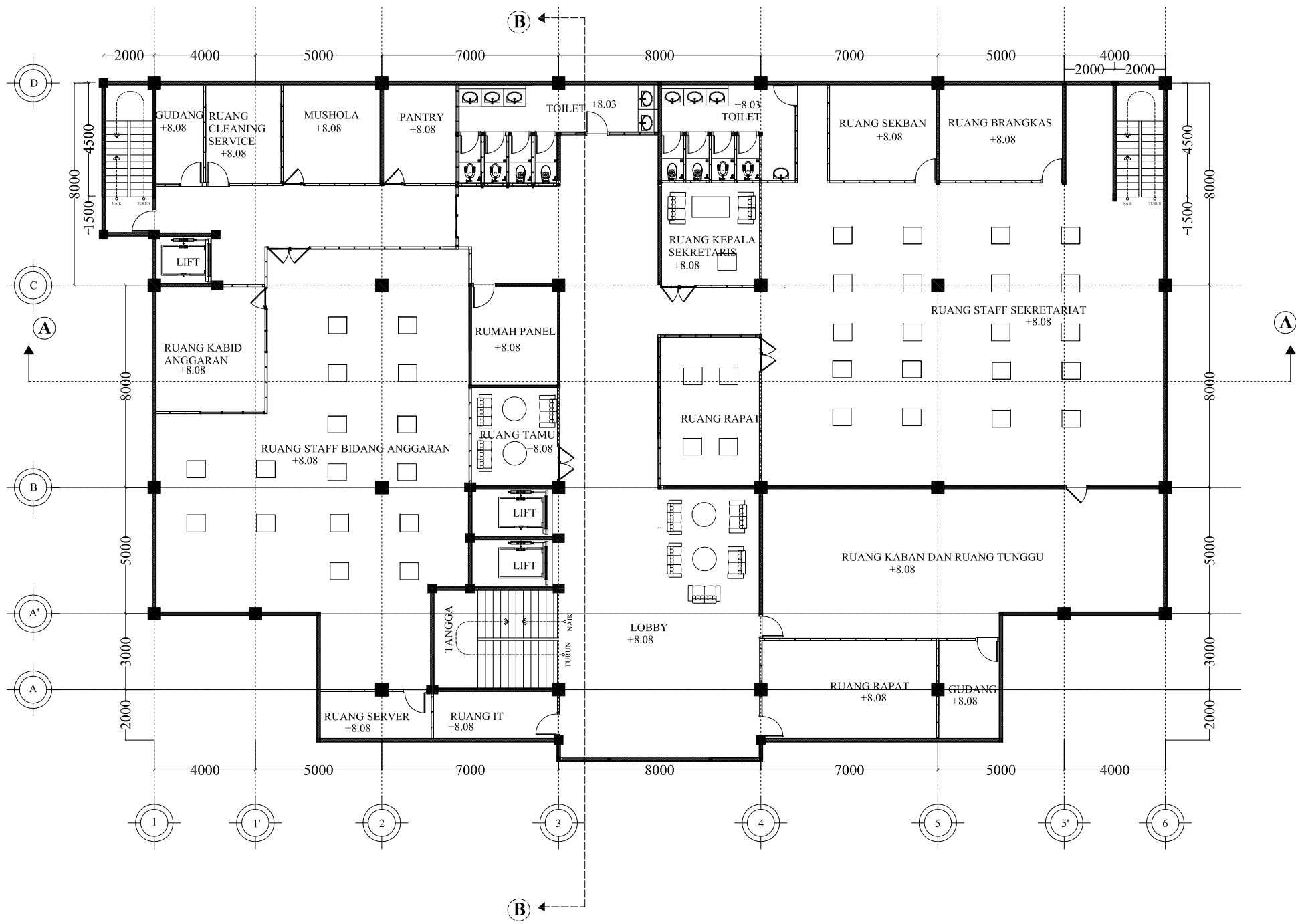
| | |
|-----------------------|-------|
| Denah Lantai 2 (h=4m) | 1:200 |
|-----------------------|-------|

KODE GBR NO GBR JML GBR

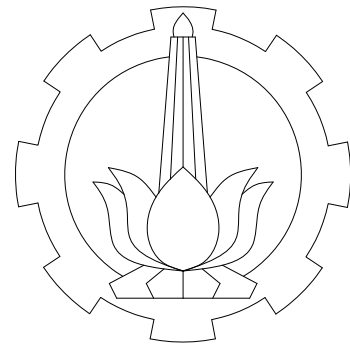
| | | |
|-----|---|----|
| ARS | 2 | 59 |
|-----|---|----|



DENAH LANTAI 2
Skala 1:200

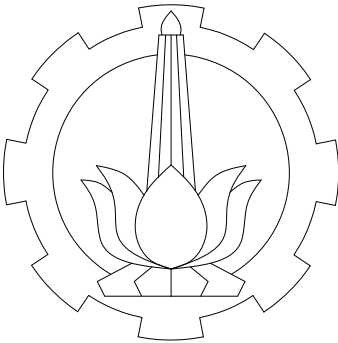


DENAH LANTAI 3
Skala 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | | |
|---|--------|---------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| TUGAS | | |
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | | |
| FUNGSI BAGUNAN | | |
| GEDUNG PERKANTORAN | | |
| DOSEN PEMBIMBING | | |
| Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd NIP 19630726 198903 1 003 | | |
| MAHASISWA | | |
| NUR AFIAH NRP 3113 030 125 ISMI BAROROH NRP 3113 030 132 | | |
| JUDUL GAMBAR | SKALA | |
| Denah Lantai 3 (h=8m) | 1:200 | |
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
| ARS | 3 | 59 |



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

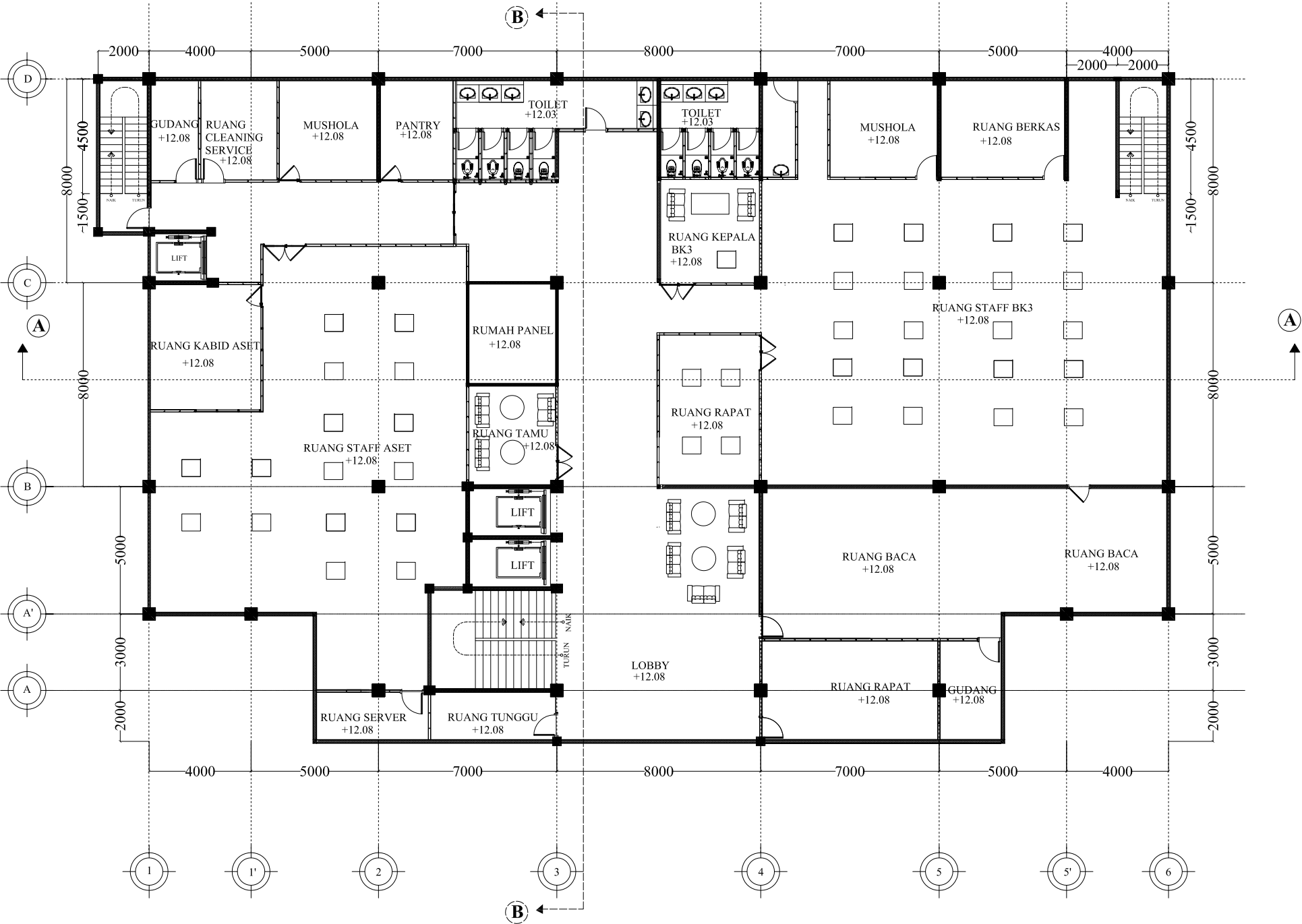
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR SKALA

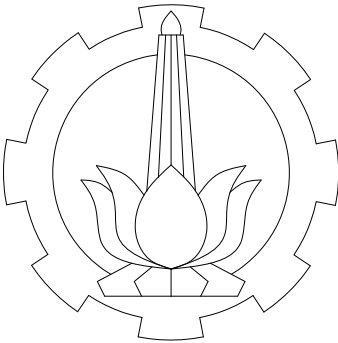
Denah Lantai 4 (h=12m) 1:200

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS 4 59



 **DENAH LANTAI 4**
Skala 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Lantai Atap (h =16 m)

1:200

KODE GBR

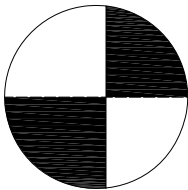
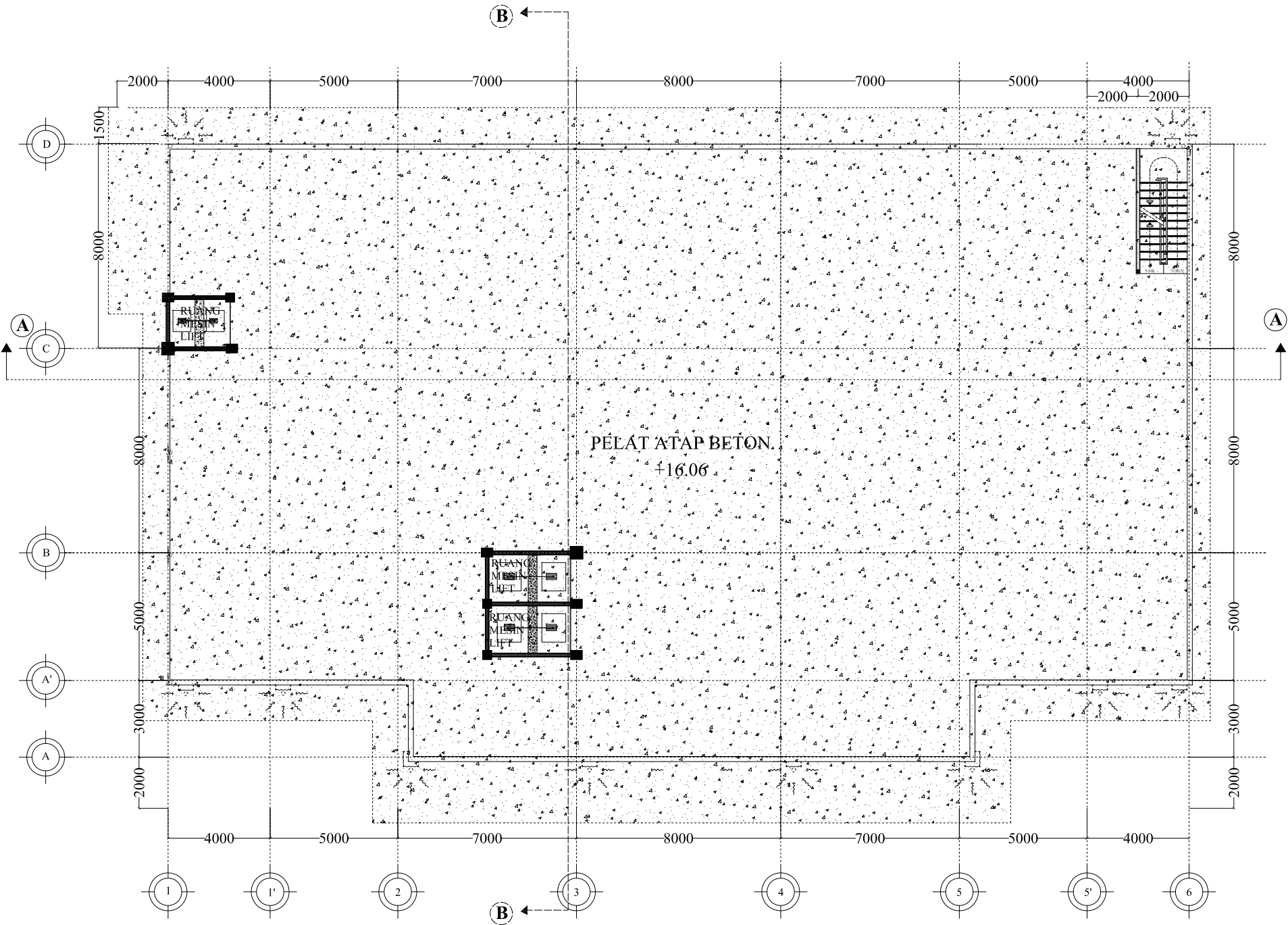
NO GBR

JML GBR

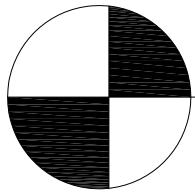
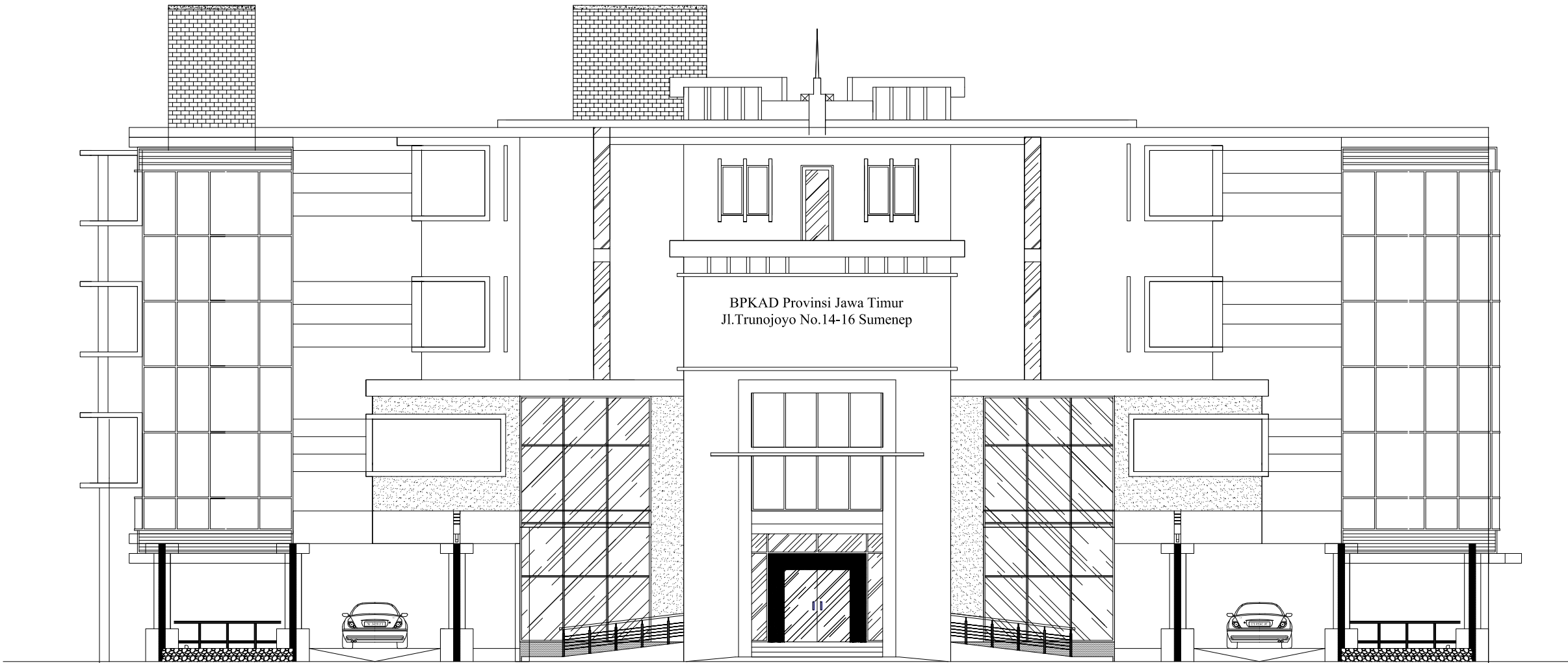
ARS

5

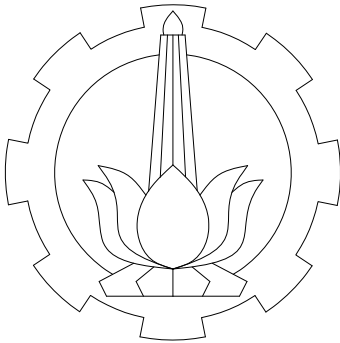
59



DENAH LANTAI ATAP
Skala 1:200



TAMPAK BARAT
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

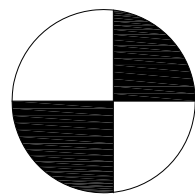
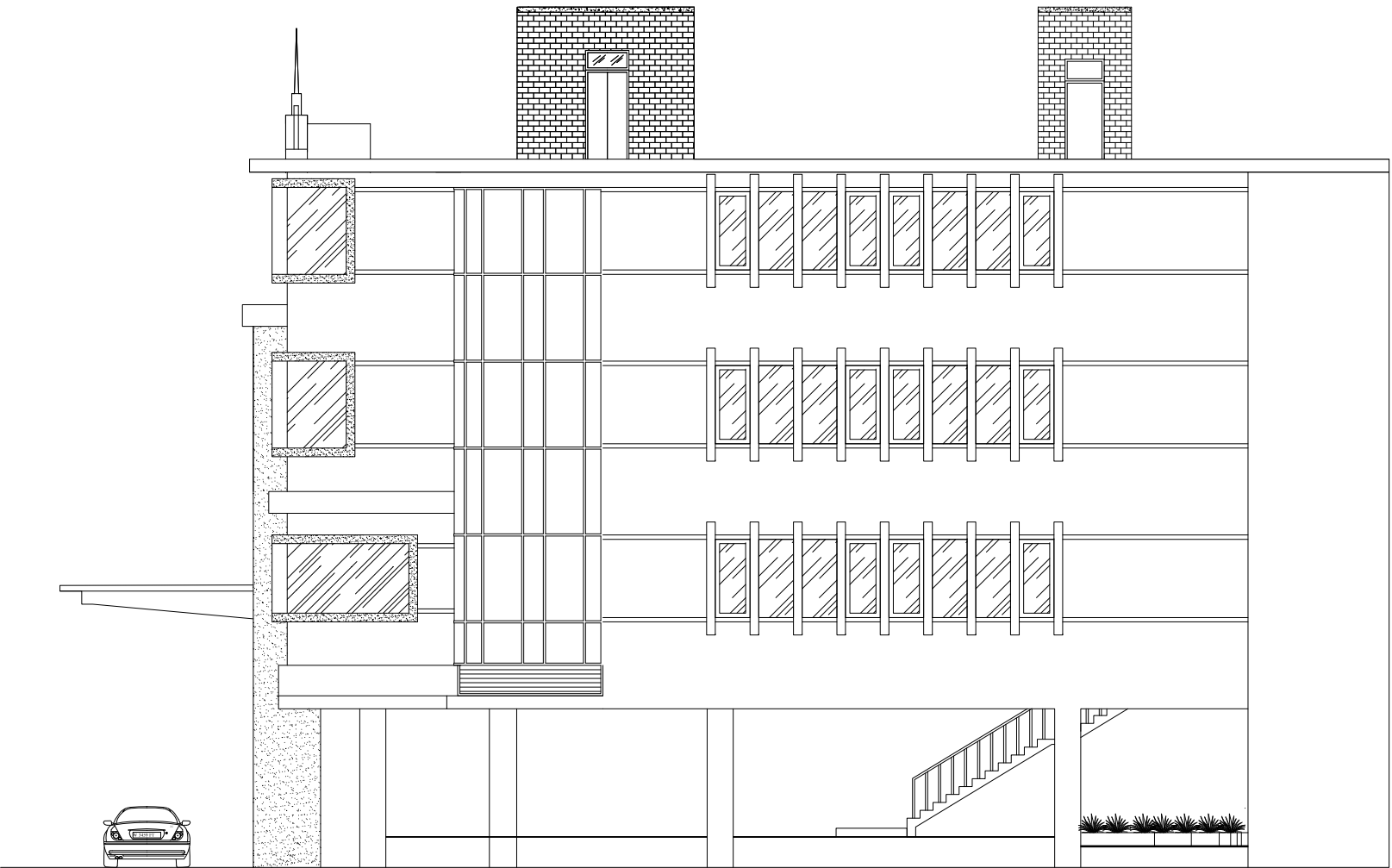
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR SKALA

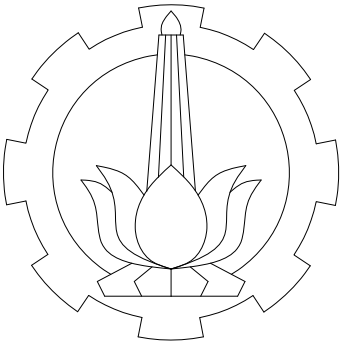
Tampak Barat 1:150

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS 6 59



TAMPAK SELATAN
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Tampak Selatan

1:150

KODE GBR

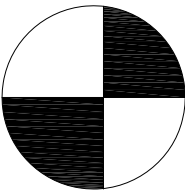
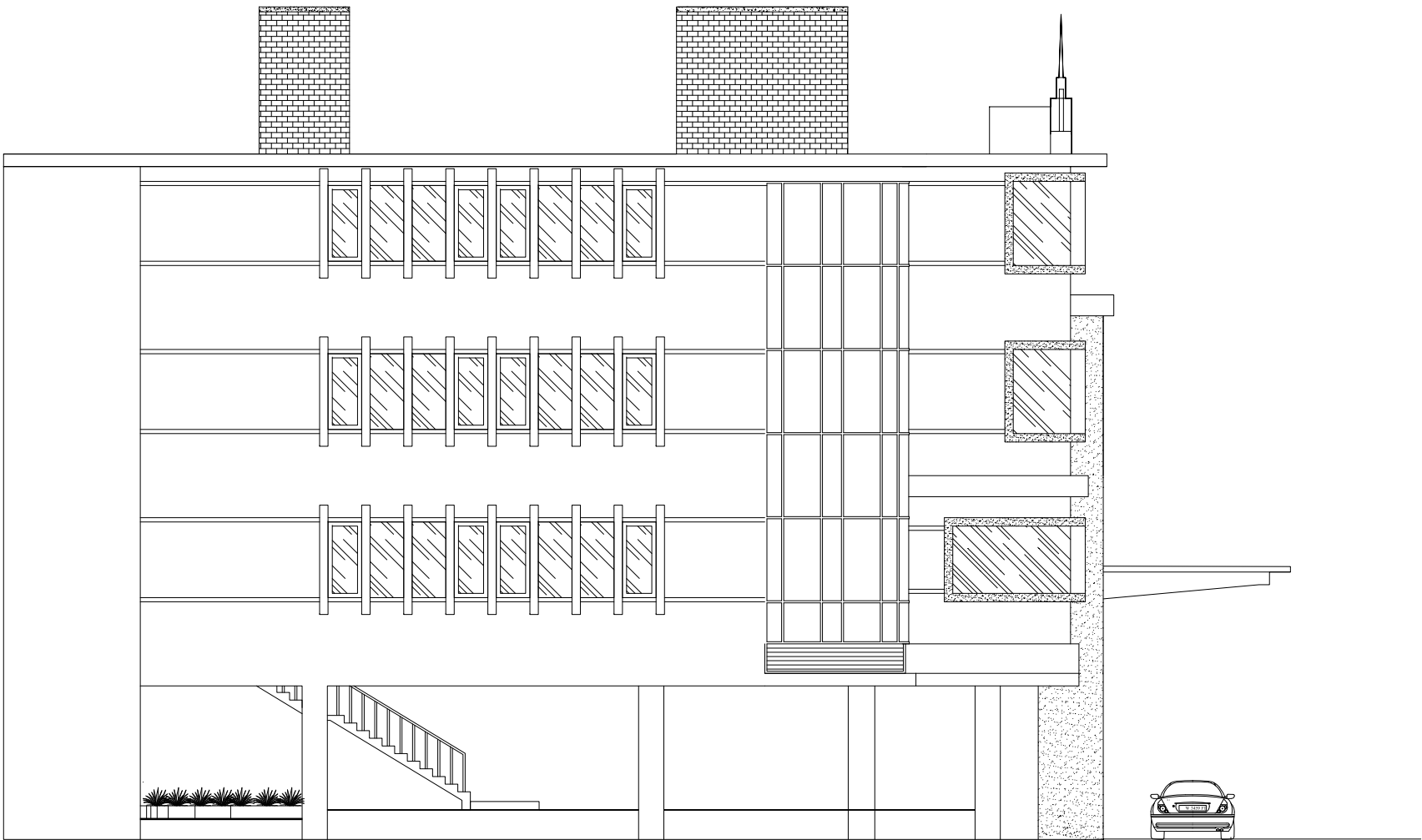
NO GBR

JML GBR

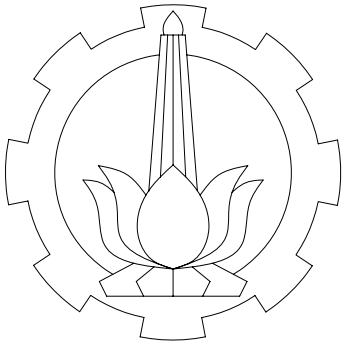
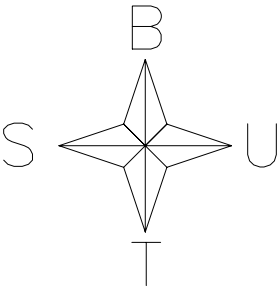
ARS

7

59



TAMPAK UTARA
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

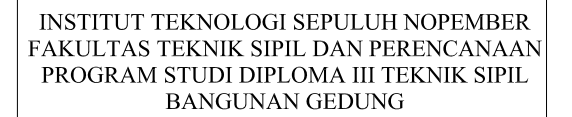
Tampak Utara

SKALA

1:150

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
|----------|--------|---------|

| | | |
|-----|---|----|
| ARS | 8 | 59 |
|-----|---|----|



| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

GEDUNG PERKANTORAN

| |
|-------------------------|
| DOSEN PEMBIMBING |
| |

NIP 19630726 198903 1 003

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

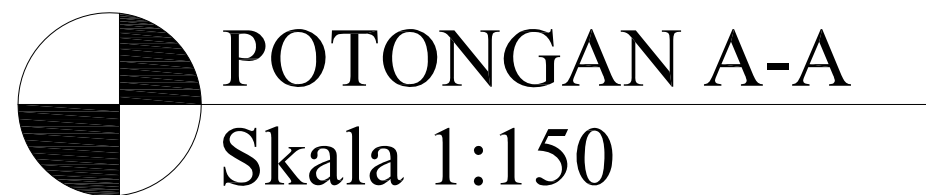
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

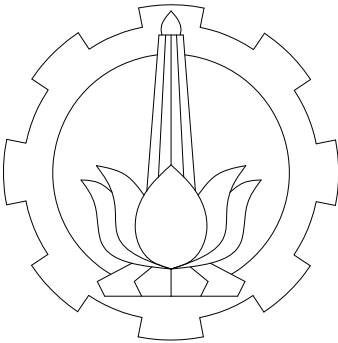
| | |
|--------------|-------|
| Potongan A-A | 1:150 |
|--------------|-------|

1:150

JML GBR

59





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

SKALA

Potongan B-B

1:150

KODE GBR

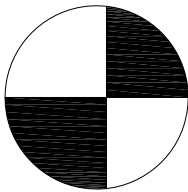
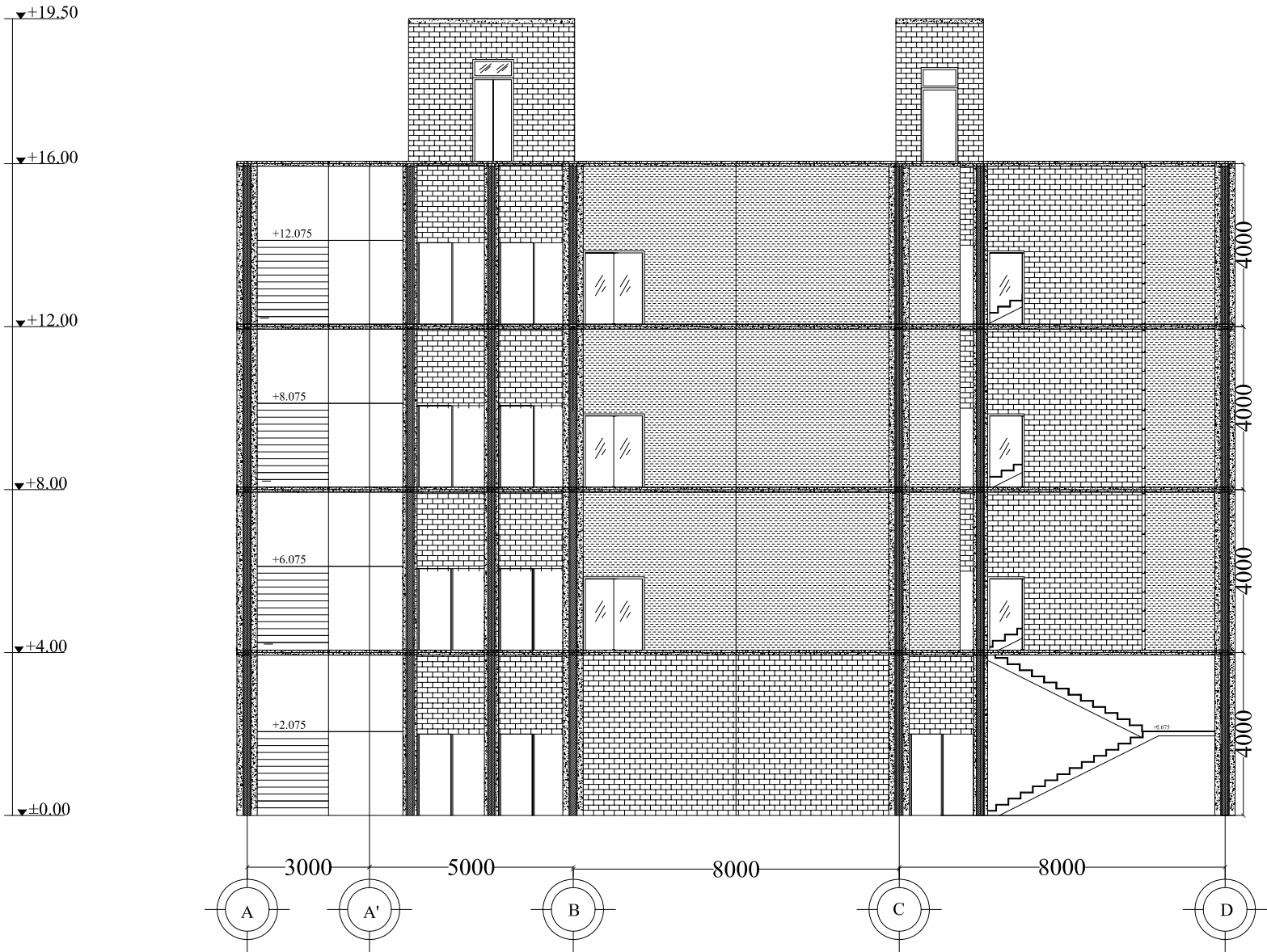
NO GBR

JML GBR

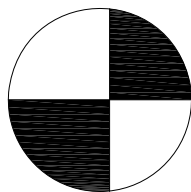
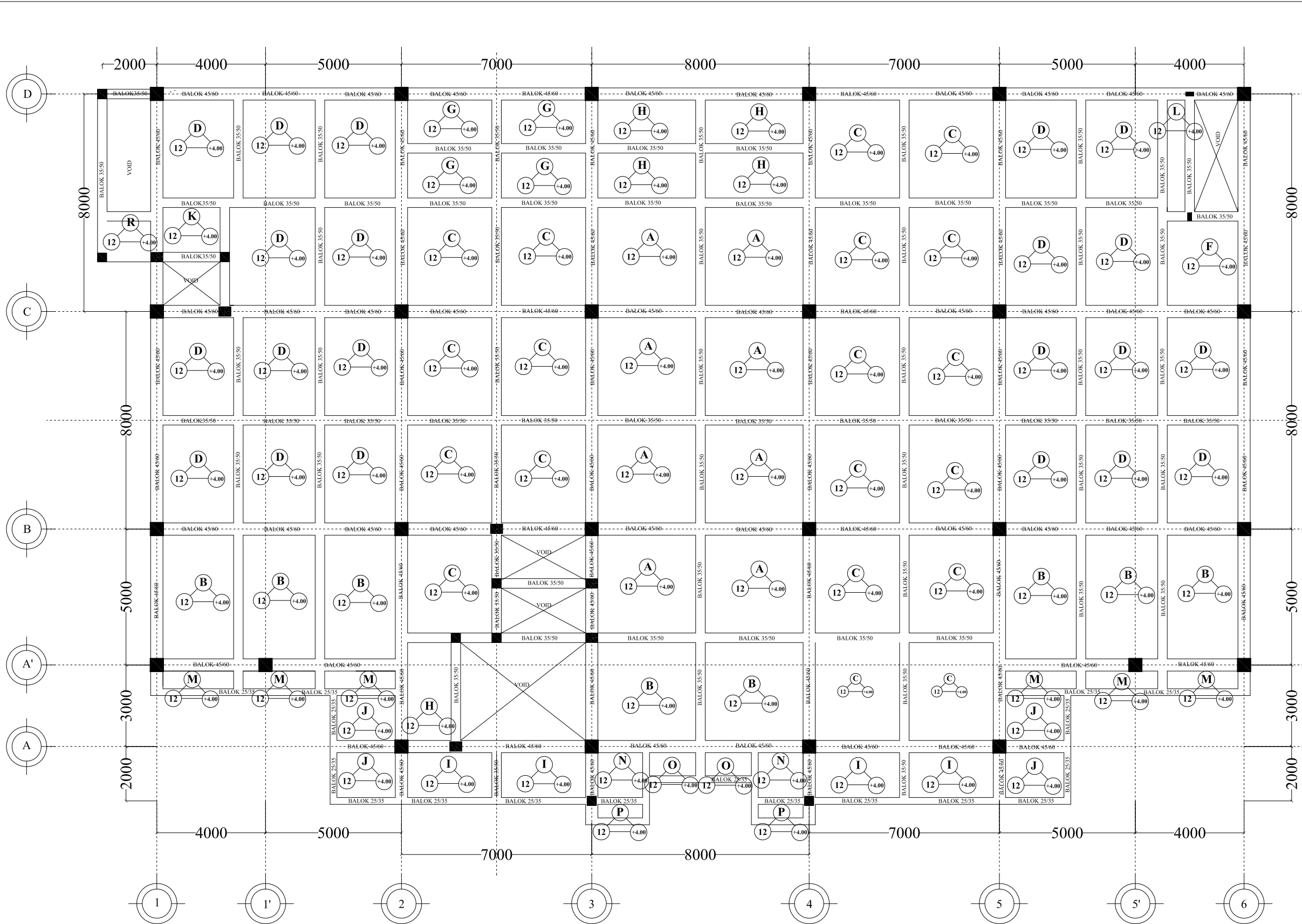
ARS

10

59

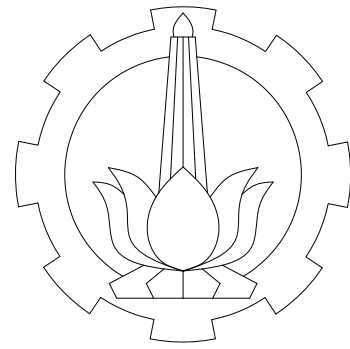


POTONGAN B-B
Skala 1:150



Denah pelat lantai 2
Skala 1:150 (h=4m)

| TIPE | UKURAN | TIPE | UKURAN |
|------|-----------|------|-------------|
| A | 4m x 4m | K | 1.5m x 2.5m |
| B | 3m x 5m | L | 1m x 4m |
| C | 3.5m x 4m | M | 1m x 3m |
| D | 3m x 4m | N | 2m x 2m |
| F | 3m x 3.5m | O | 1.2m x 2m |
| G | 2m x 3.5m | P | 0.75m x 2m |
| H | 2m x 4m | Q | 0.75m x 4m |
| I | 2m x 3.5m | R | 1.5 m x 2m |
| J | 2m x 2.5m | | |



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

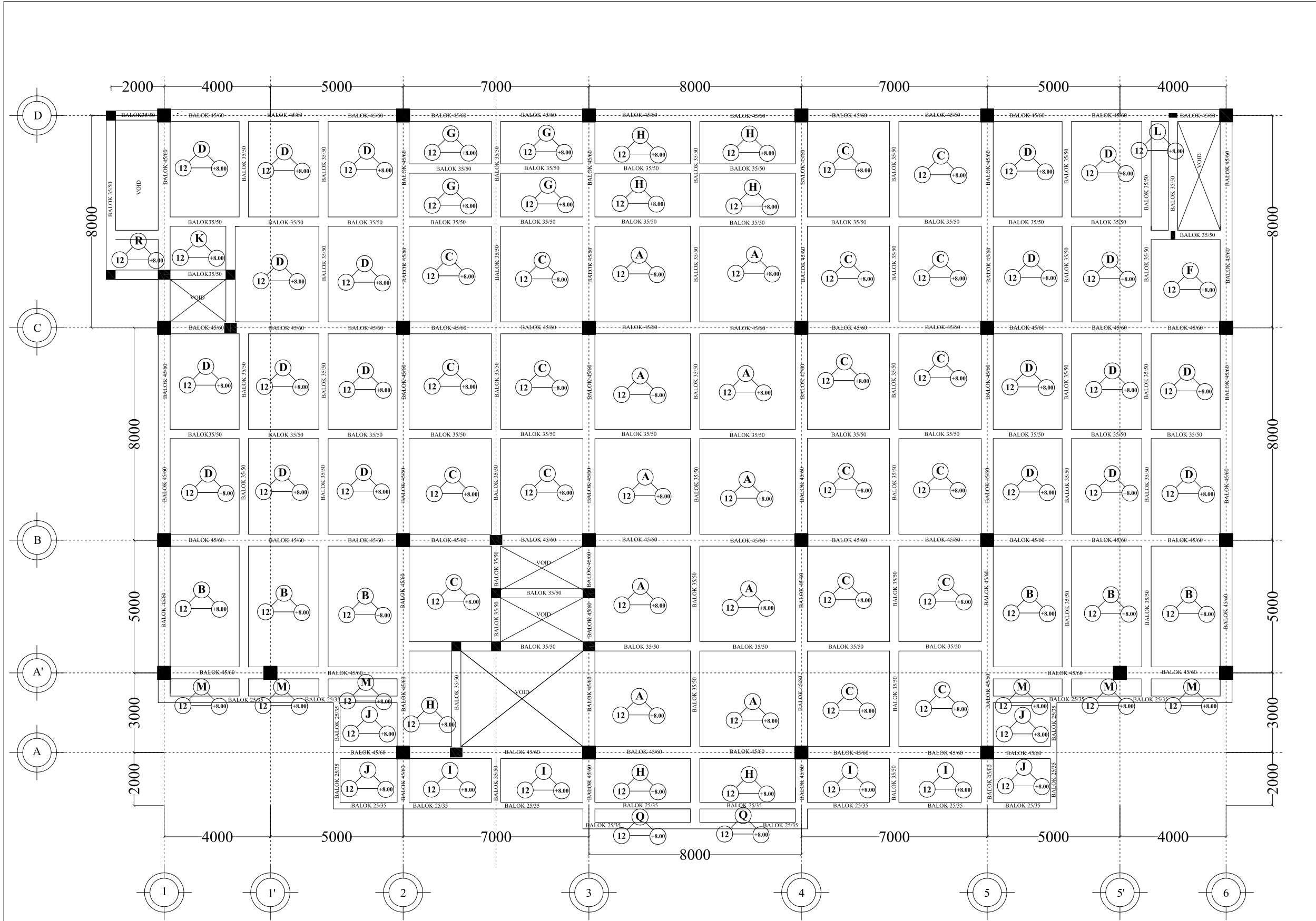
| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

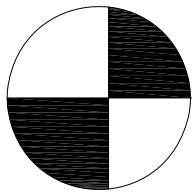
SKALA

| | |
|--------------------------------|-------|
| Denah Pelat Lantai 2 (h=4m) | 1:150 |
|--------------------------------|-------|

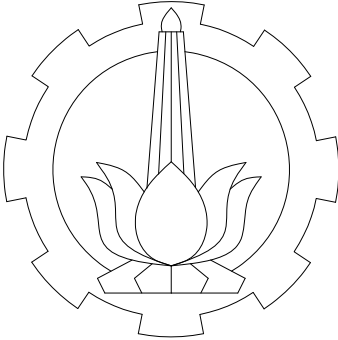
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 11 | 59 |



| TIPE | UKURAN | TIPE | UKURAN |
|------|-----------|------|-------------|
| A | 4m x 4m | K | 1.5m x 2.5m |
| B | 3m x 5m | L | 1m x 4m |
| C | 3.5m x 4m | M | 1m x 3m |
| D | 3m x 4m | N | 2m x 2m |
| F | 3m x 3.5m | O | 1.2m x 2m |
| G | 2m x 3.5m | P | 0.75m x 2m |
| H | 2m x 4m | Q | 0.75m x 4m |
| I | 2m x 3.5m | R | 1.5 m x 2m |
| J | 2m x 2.5m | | |



Denah pelat lantai 3
Skala 1:150 (h=8m)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Pelat Lantai 3
(h=8m)

1:150

KODE GBR

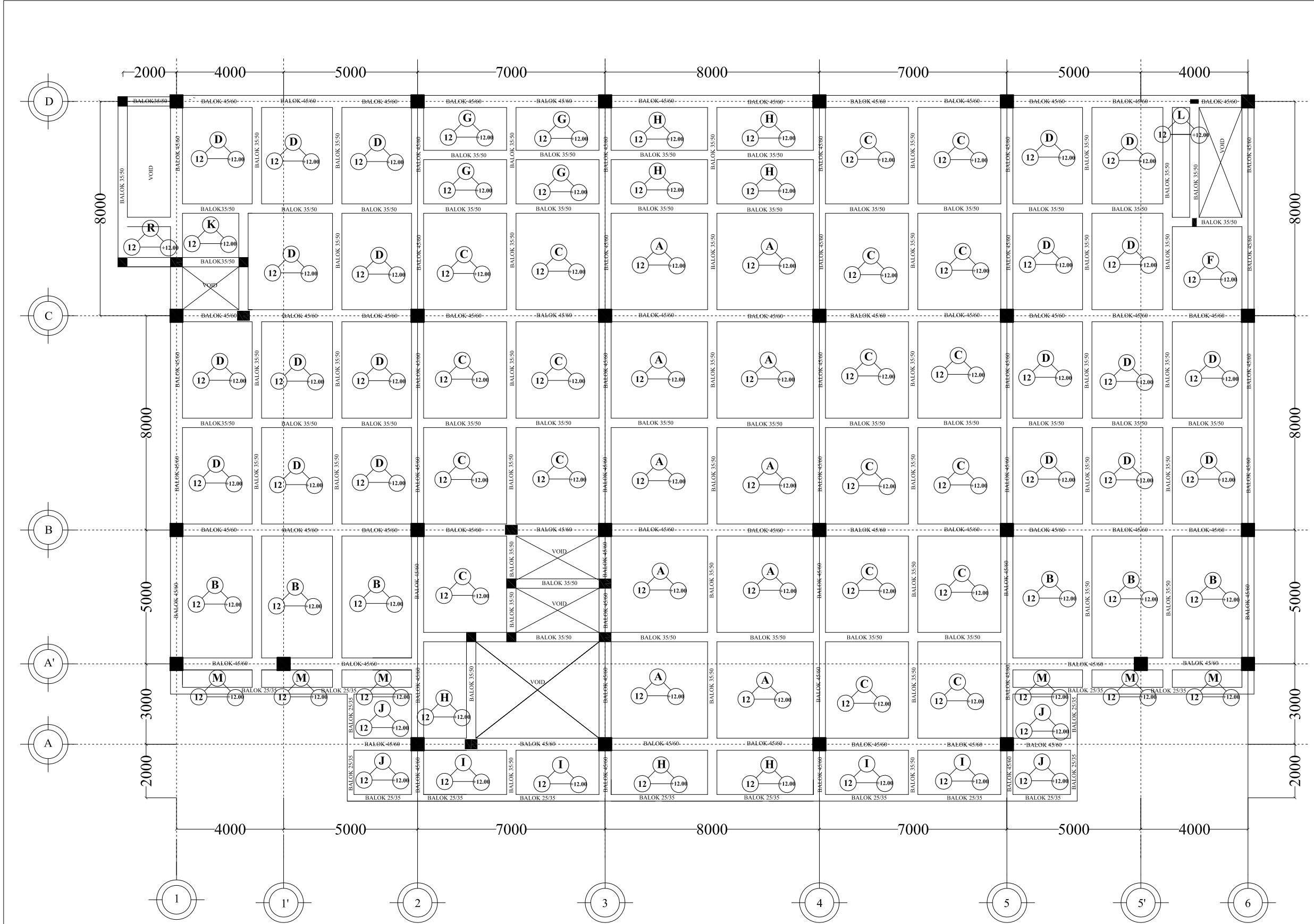
NO GBR

JML GBR

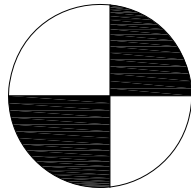
STR

12

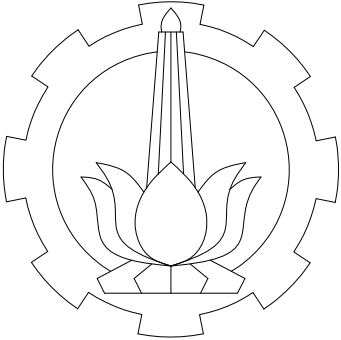
59



| TIPE | UKURAN | TIPE | UKURAN |
|------|-----------|------|-------------|
| A | 4m x 4m | K | 1.5m x 2.5m |
| B | 3m x 5m | L | 1m x 4m |
| C | 3.5m x 4m | M | 1m x 3m |
| D | 3m x 4m | N | 2m x 2m |
| F | 3m x 3.5m | O | 1.2m x 2m |
| G | 2m x 3.5m | P | 0.75m x 2m |
| H | 2m x 4m | Q | 0.75m x 4m |
| I | 2m x 3.5m | R | 1.5 m x 2m |
| J | 2m x 2.5m | | |



Denah pelat lantai 4
Skala 1:150 (h=12m)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

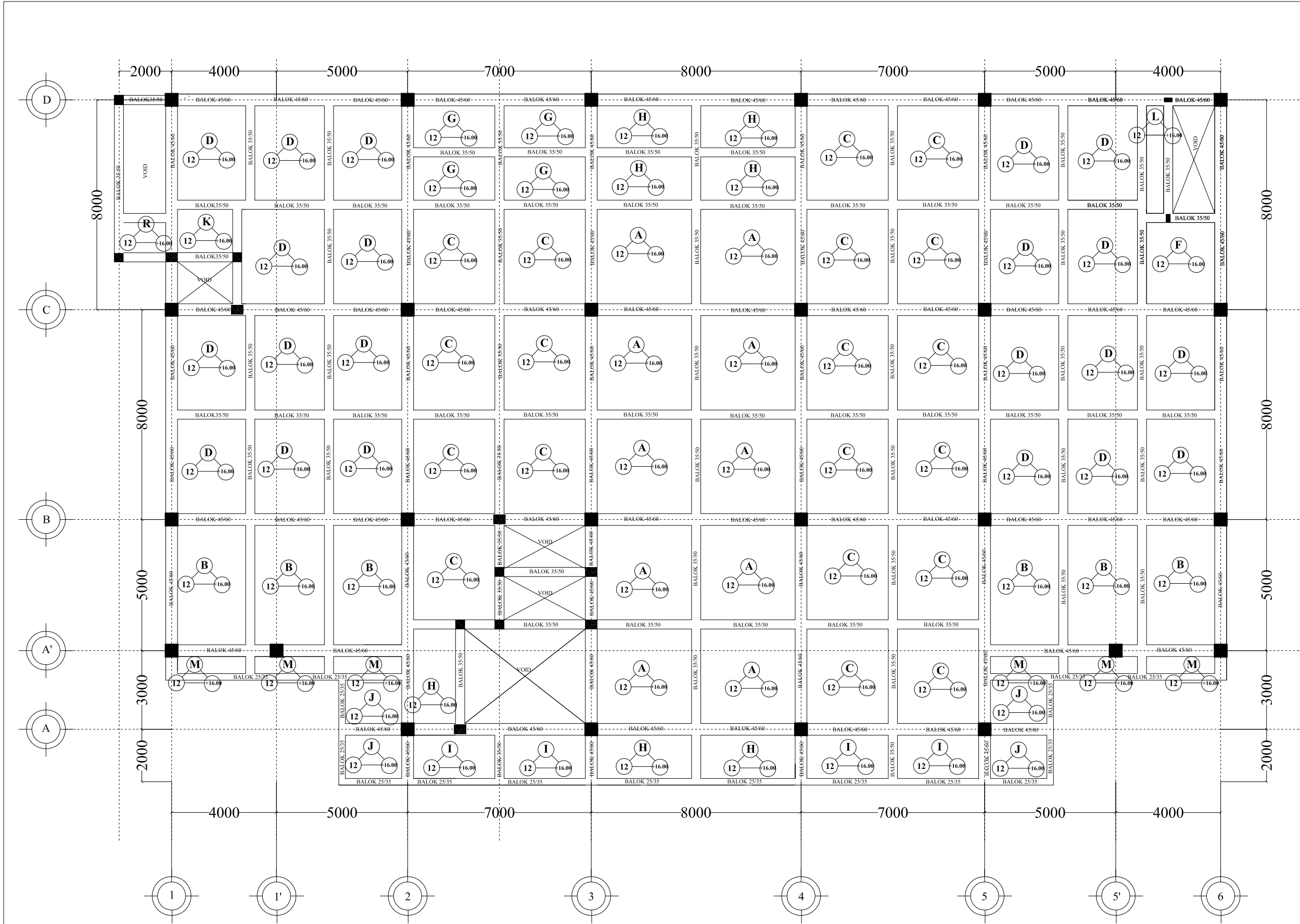
JUDUL GAMBAR

SKALA

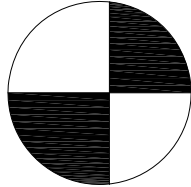
Denah Pelat Lantai 4
(h=12m)

1:150

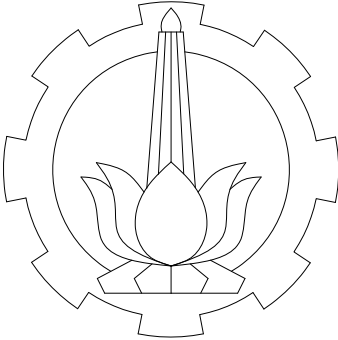
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 13 | 59 |



| TIPE | UKURAN | TIPE | UKURAN |
|------|-----------|------|-------------|
| A | 4m x 4m | K | 1.5m x 2.5m |
| B | 3m x 5m | L | 1m x 4m |
| C | 3.5m x 4m | M | 1m x 3m |
| D | 3m x 4m | N | 2m x 2m |
| F | 3m x 3.5m | O | 1.2m x 2m |
| G | 2m x 3.5m | P | 0.75m x 2m |
| H | 2m x 4m | Q | 0.75m x 4m |
| I | 2m x 3.5m | R | 1.5 m x 2m |
| J | 2m x 2.5m | | |



Denah pelat lantai Atap
Skala 1:150 (h=16m)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

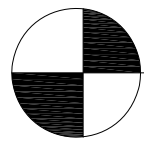
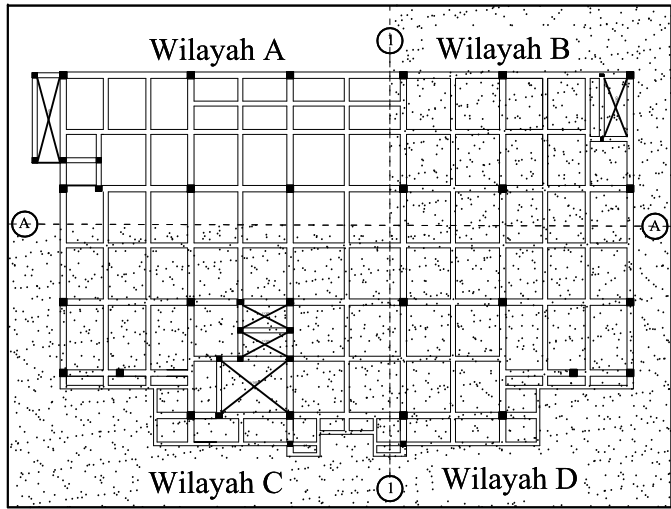
JUDUL GAMBAR

SKALA

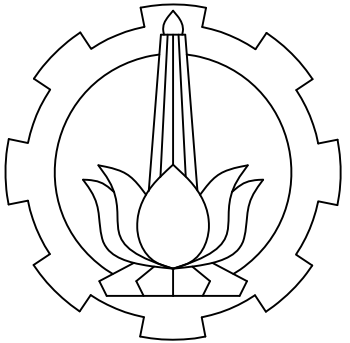
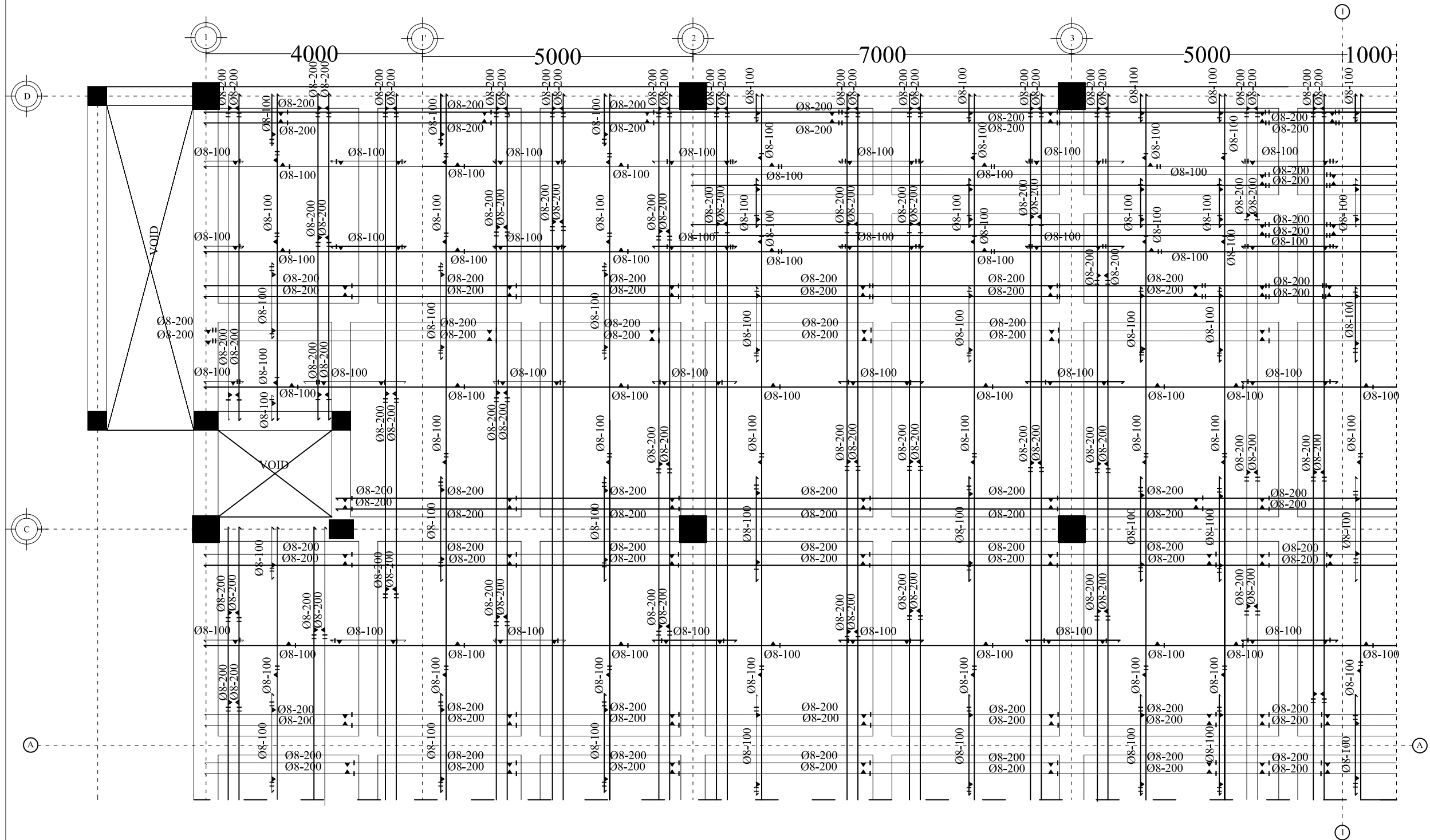
Denah Pelat Lantai Atap
(h=16m)

1:150

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 14 | 59 |



Denah Penulangan Pelat Lantai 2(h=4m),Wilayah A
Skala 1:80



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

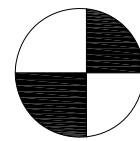
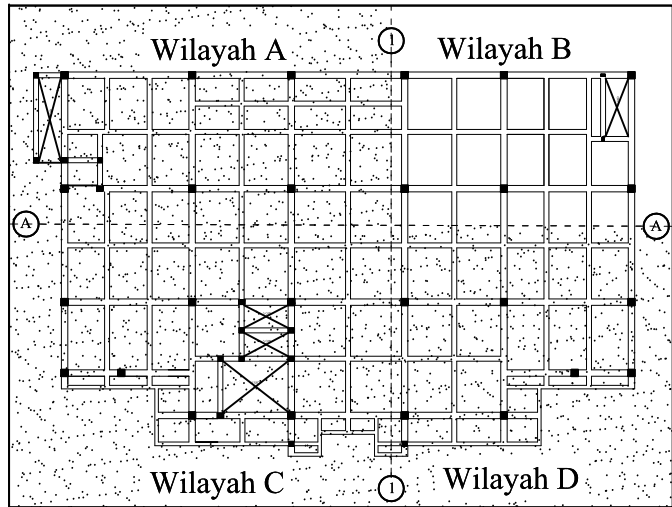
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR SKALA

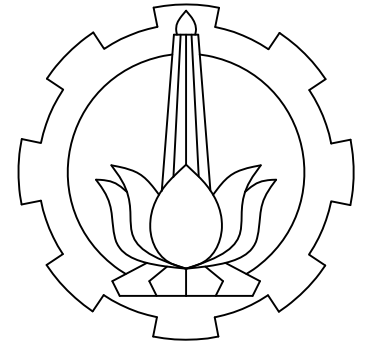
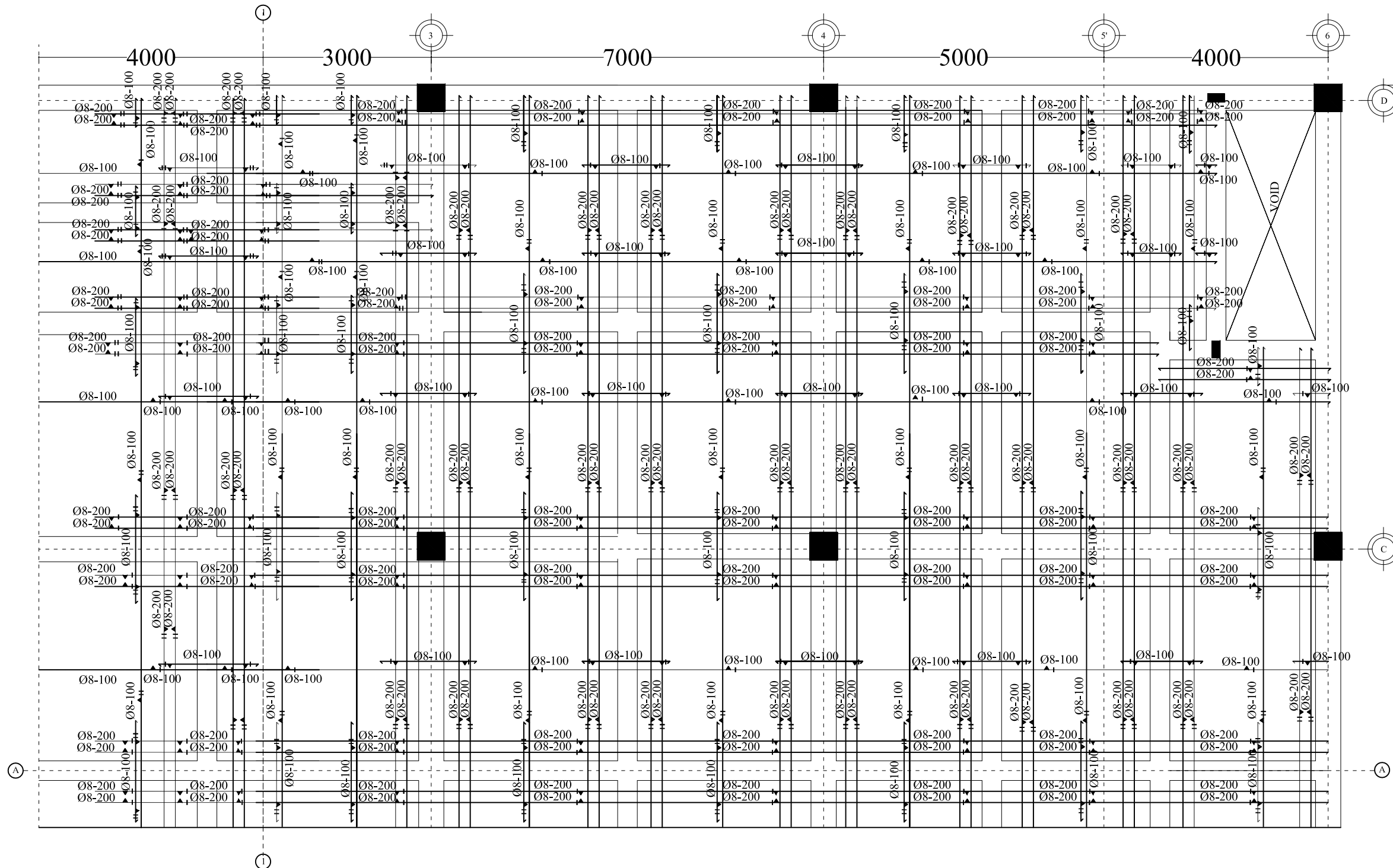
Denah Penulangan Pelat
Lantai 2 (h=4m)
Wilayah A 1:80

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 15 59



Denah Penulangan Pelat Lantai 2 (h=4m), Wilayah B
Skala 1:80



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

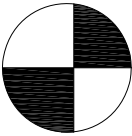
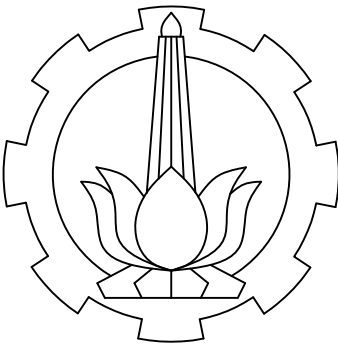
JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penulangan Pelat
Lantai 2 (h=4m)
Wilayah B

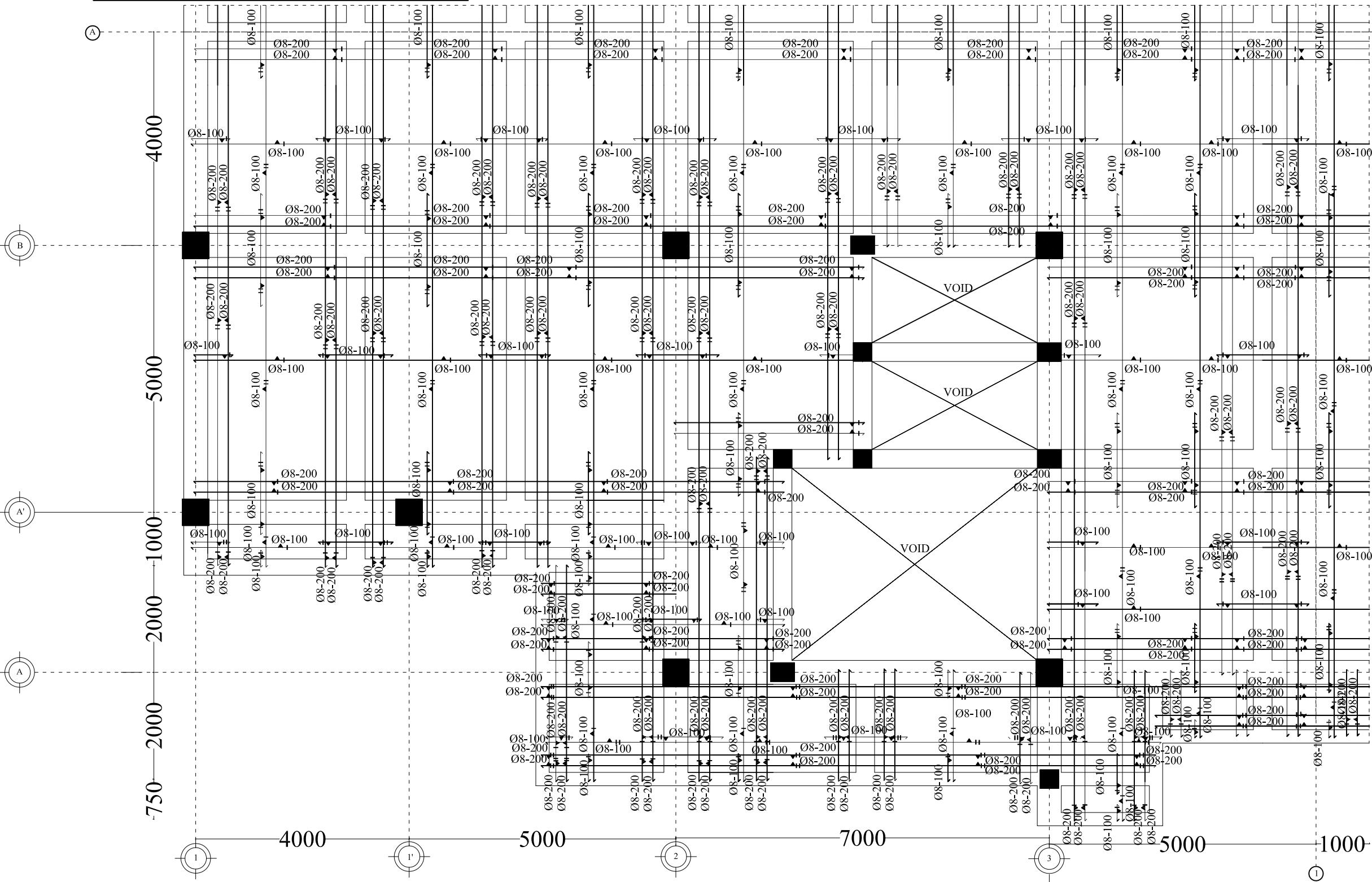
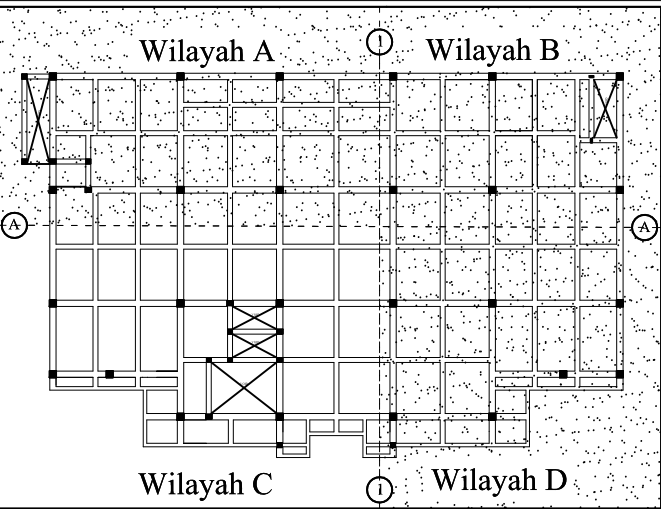
1:80

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 16 | 59 |



Denah Penulangan Pelat Lantai 2(h=4m), Wilayah C

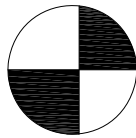
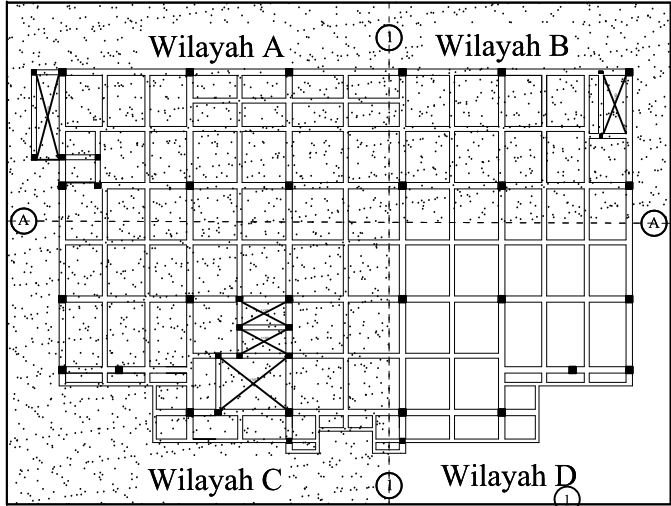
Skala 1:80



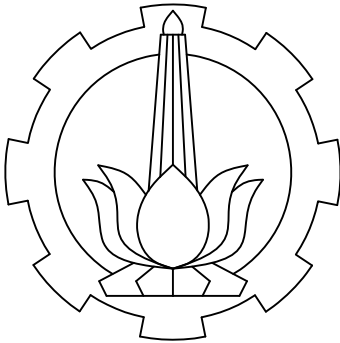
REVISI

| TUGAS | |
|---|------------------|
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | |
| FUNGSI BAGUNAN | |
| GEDUNG PERKANTORAN | |
| DOSEN PEMBIMBING | |
| Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd NIP 131 846 112 | |
| MAHASISWA | |
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| JUDUL GAMBAR | | SKALA |
|--|--------|---------|
| Denah Penulangan Pelat Lantai 2 (h=4m) Wilayah C | | 1:80 |
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
| STR | 17 | 59 |



Denah Penulangan Lantai 2(h=4m),Wilayah D
Skala 1:80



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penuulangan Pelat
Lantai 2 (h=4m)
Wilayah D

1:80

KODE GBR

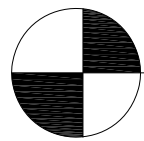
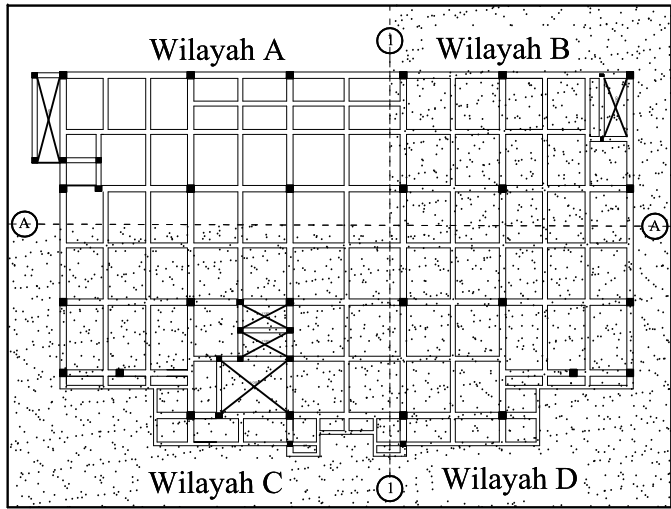
NO GBR

JML GBR

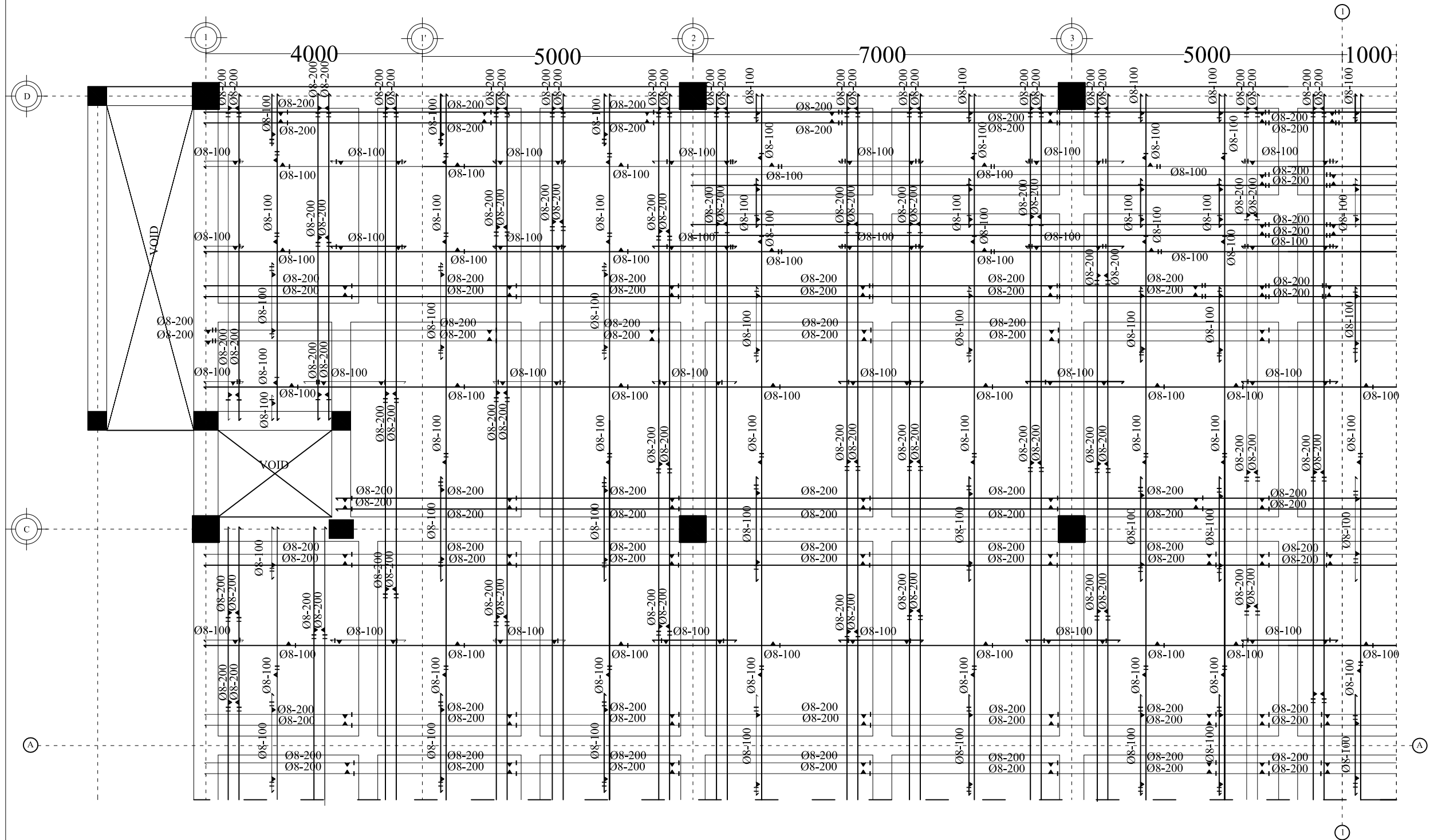
STR

18

59



Denah Penulangan Pelat Lantai 3 (h=8m),Wilayah A
Skala 1:80



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

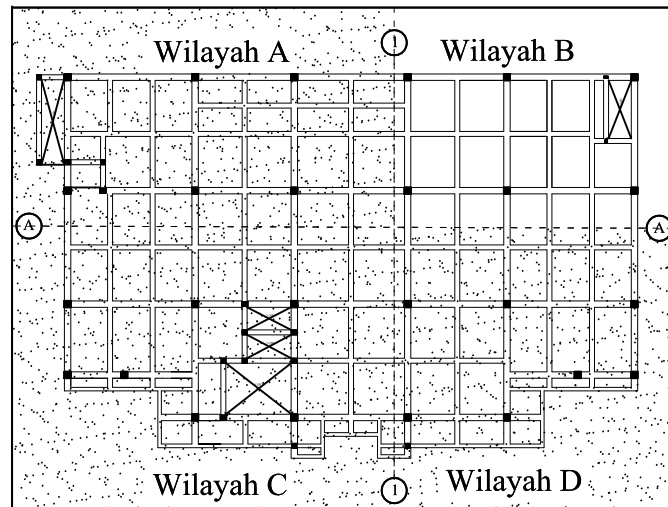
JUDUL GAMBAR SKALA

Denah Penulangan Pelat
Lantai 3 (h=8m)
Wilayah A

1:80

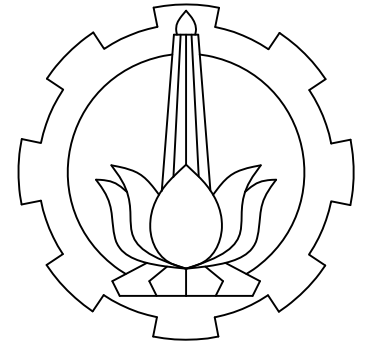
KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 19 59



Denah Penulangan Pelat Lantai 3 (h=8m), Wilayah B

Skala 1:80



TUGAS

FUNGSI BAGUNAN

DOSEN PEMBIMBING

NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH

NRP 3113 030 125

ISMI BAROROH

NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penulangan Pelat
Lantai 3 ($h=8m$)
Wilayah B

1:80

KODE GBR

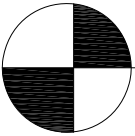
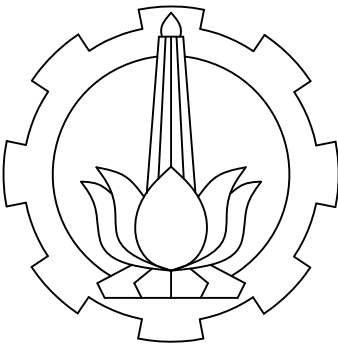
| | |
|--------|--|
| NO GBR | |
|--------|--|

JML GBR

STR

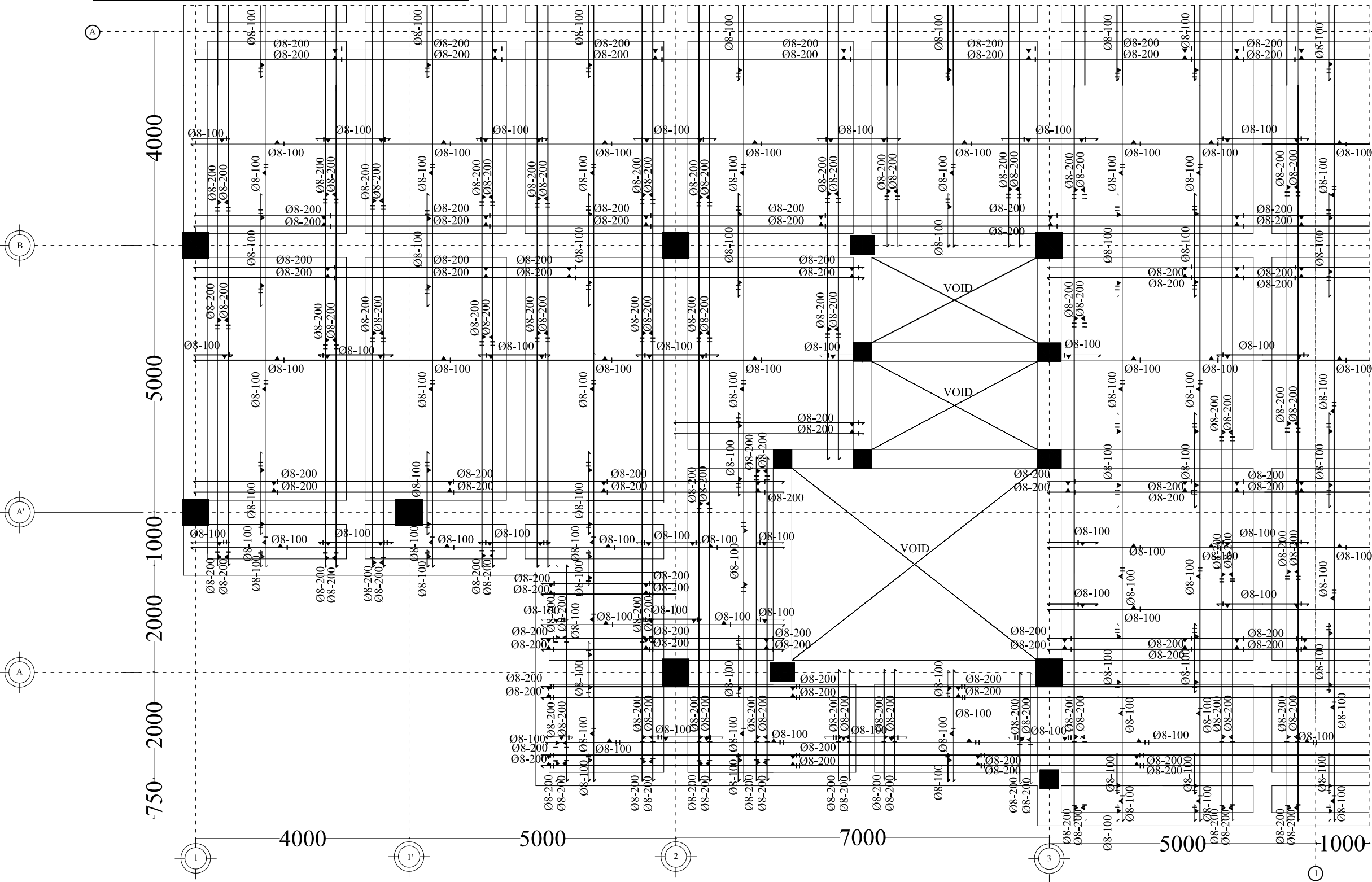
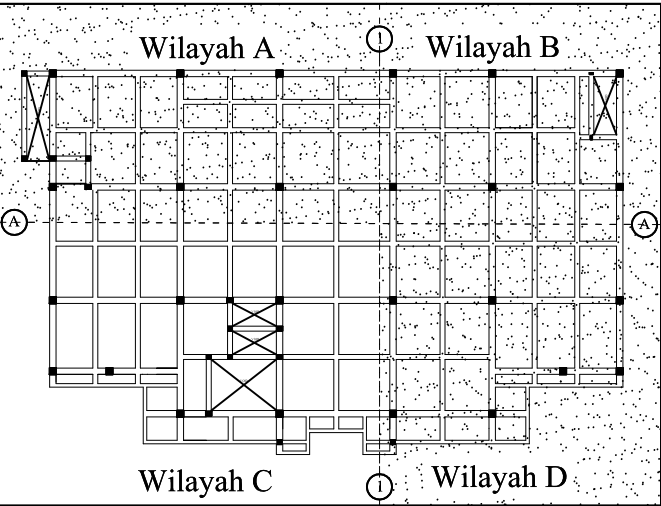
20

59



Denah Penulangan Pelat Lantai 3(h=8m), Wilayah C

Skala 1:80



REVISI

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penulangan Pelat
Lantai 3 (h=8m)
Wilayah C

1:80

KODE GBR

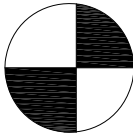
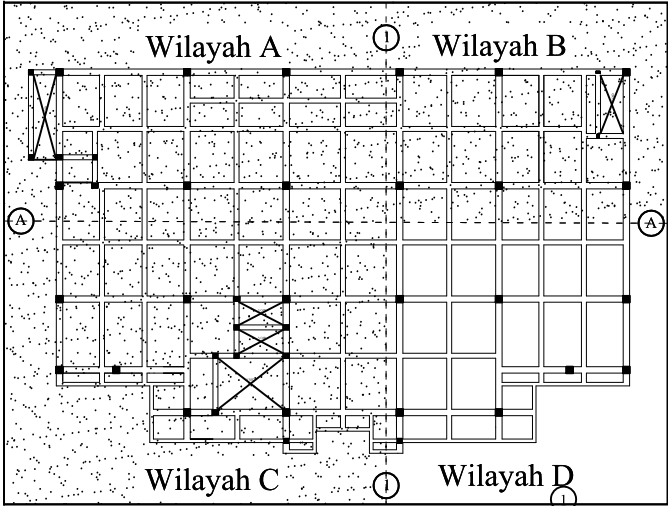
NO GBR

JML GBR

STR

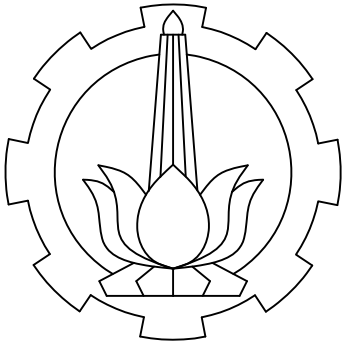
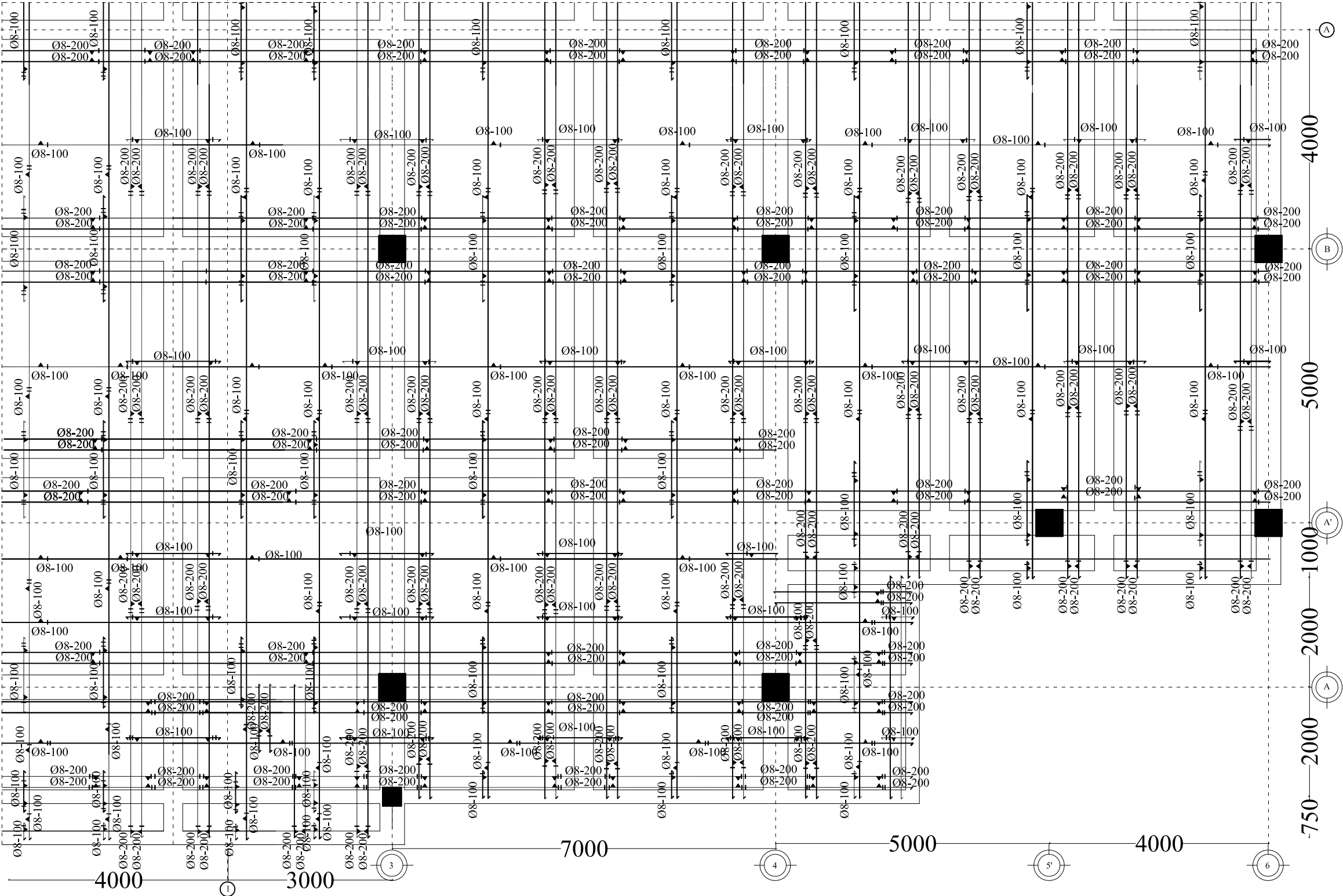
21

59



Denah Penulangan Lantai 3(h=8m),Wilayah D

Skala 1:80



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

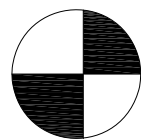
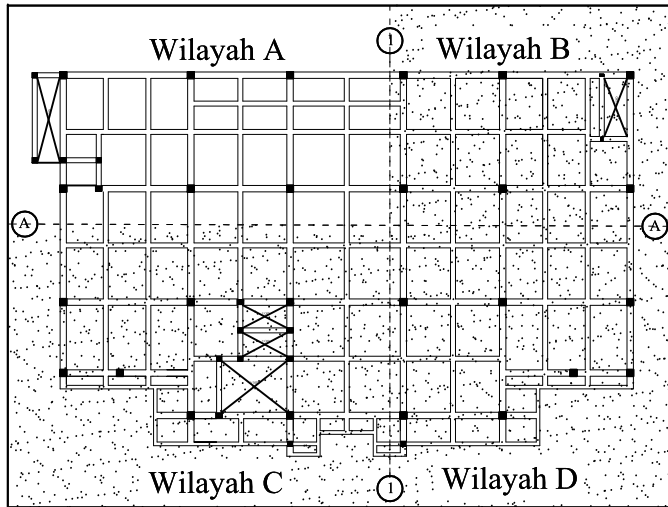
JUDUL GAMBAR

SKALA

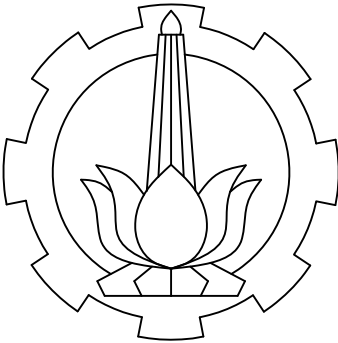
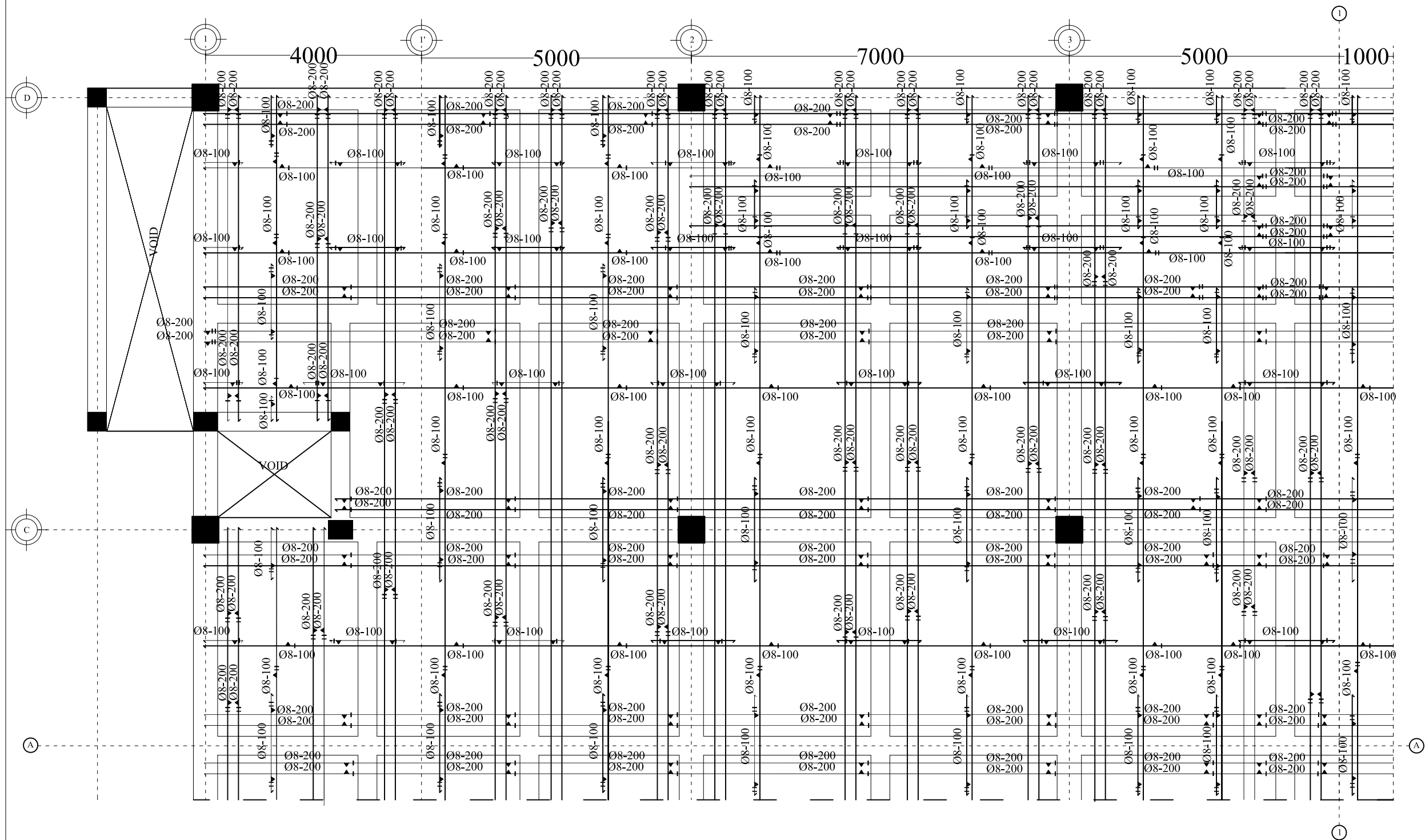
Denah Penulangan Pelat
Lantai 3 (h=8m)
Wilayah D

1:80

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 22 | 59 |



Denah Penulangan Pelat Lantai 4(h=12m) & Atap (h=16m),Wilayah A
Skala 1:80



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

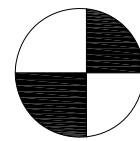
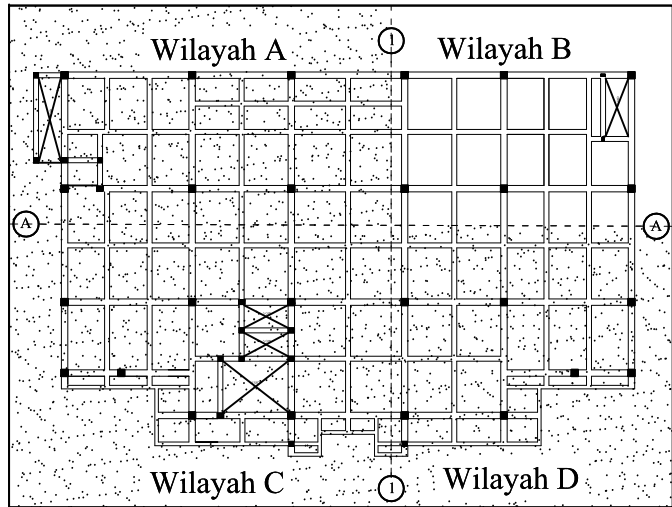
JUDUL GAMBAR SKALA

Denah Penulangan Pelat
Lantai 4 (h=12m), Atap (h=16)
Wilayah A

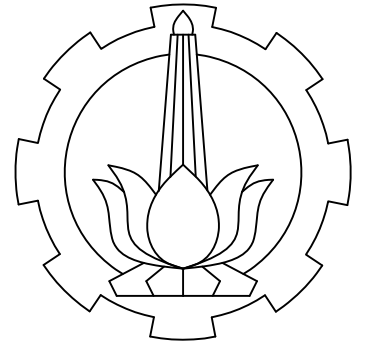
1:80

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 23 59



Denah Penulangan Pelat Lantai 4(h=12m) & Atap (h=16m), Wilayah B
Skala 1:80



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penulangan Pelat
Lantai 4 (h=12m), Atap (h=16)
Wilayah B

1:80

KODE GBR

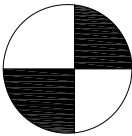
NO GBR

JML GBR

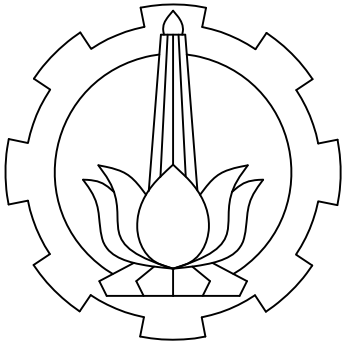
STR

24

59



Denah Penulangan Pelat Lantai 4(h=12m) & Atap (h=16m), Wilayah C
Skala 1:80



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penulangan Pelat Lantai
4 (h=12m), Atap (h=16)
Wilayah C

1:80

KODE GBR

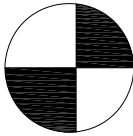
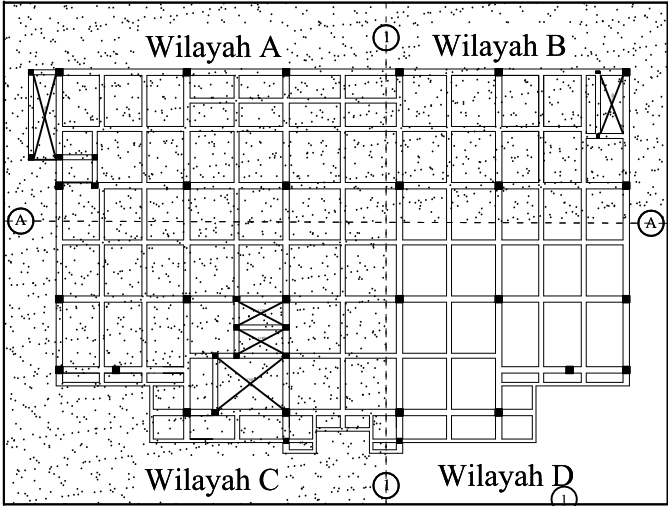
NO GBR

JML GBR

STR

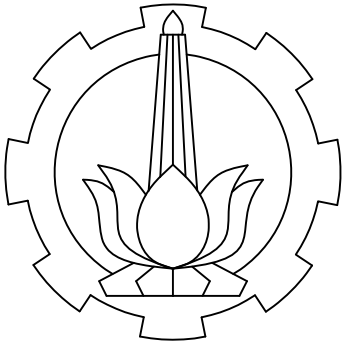
25

59



Denah Penulangan Lantai 4(h=12m) & Atap (h=16m),Wilayah D

Skala 1:80



REVISI

1

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Penualangan Pelat Lantai
4 (h=12m), Atap (h=16)
Wilayah D

1:80

KODE GBR

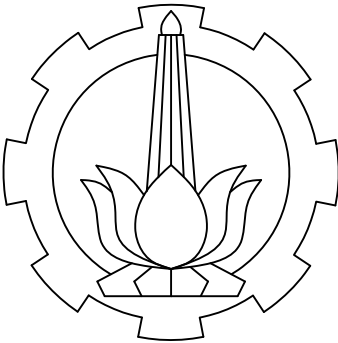
STR

NO GBR

26

JML GBR

59



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

| |
|---|
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL |
|---|

FUNGSI BAGUNAN

| |
|--------------------|
| GEDUNG PERKANTORAN |
|--------------------|

DOSEN PEMBIMBING

| |
|---|
| Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd NIP 19630726 198903 1 003 |
|---|

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

SKALA

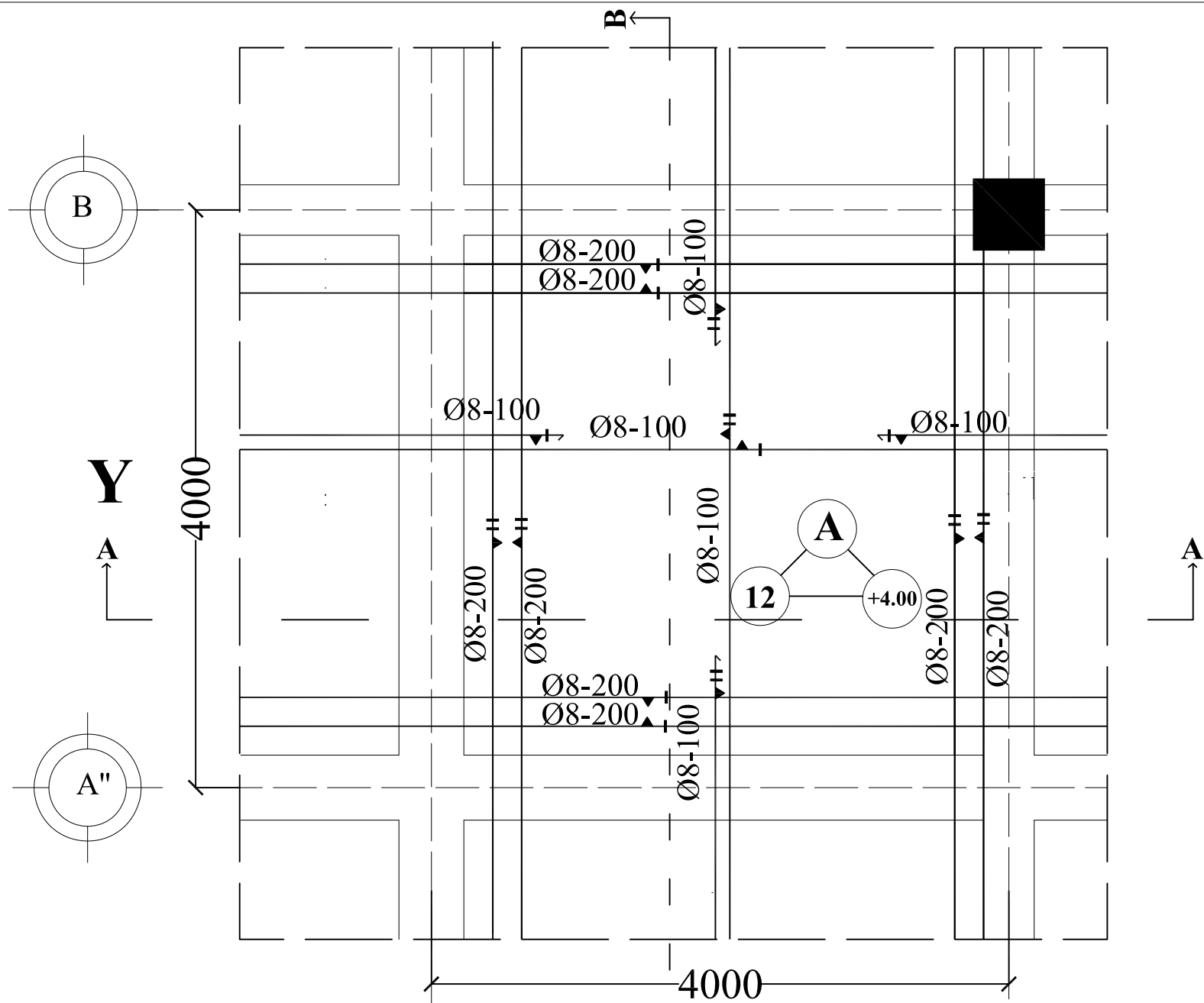
| | |
|--|------|
| Detail penulangan pelat lantai 2 (h=4m) Tipe A (4mx4m) | 1:40 |
|--|------|

KODE GBR

NO GBR

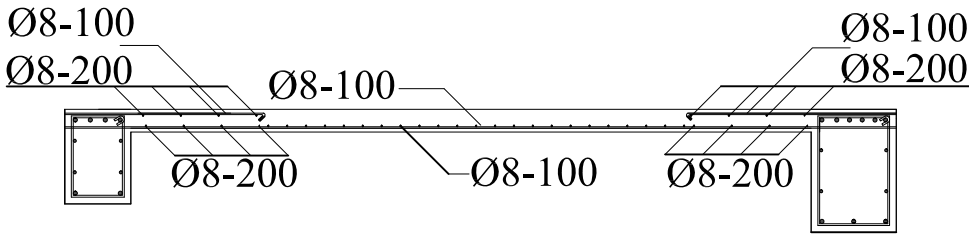
JML GBR

| | | |
|-----|----|----|
| STR | 27 | 59 |
|-----|----|----|

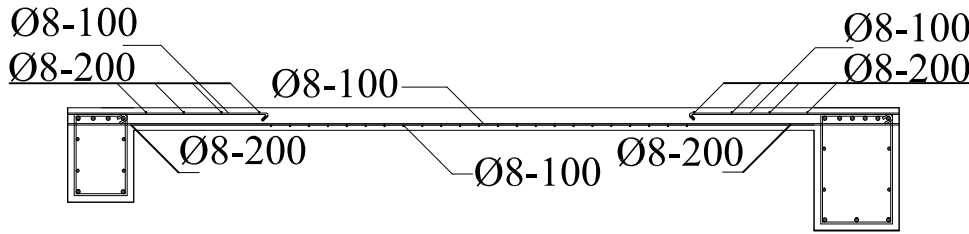


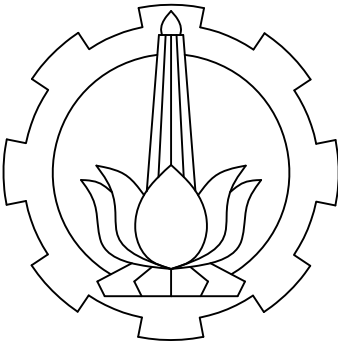
Penulangan Pelat Lt.2(4mx4m)
(h=4m) Skala 1:40

Potongan A-A'



Potongan B-B'





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

SKALA

Detail penulangan pelat
lantai 2 (h=4m)
Tipe lantai D (3mx4m)

1:30

KODE GBR

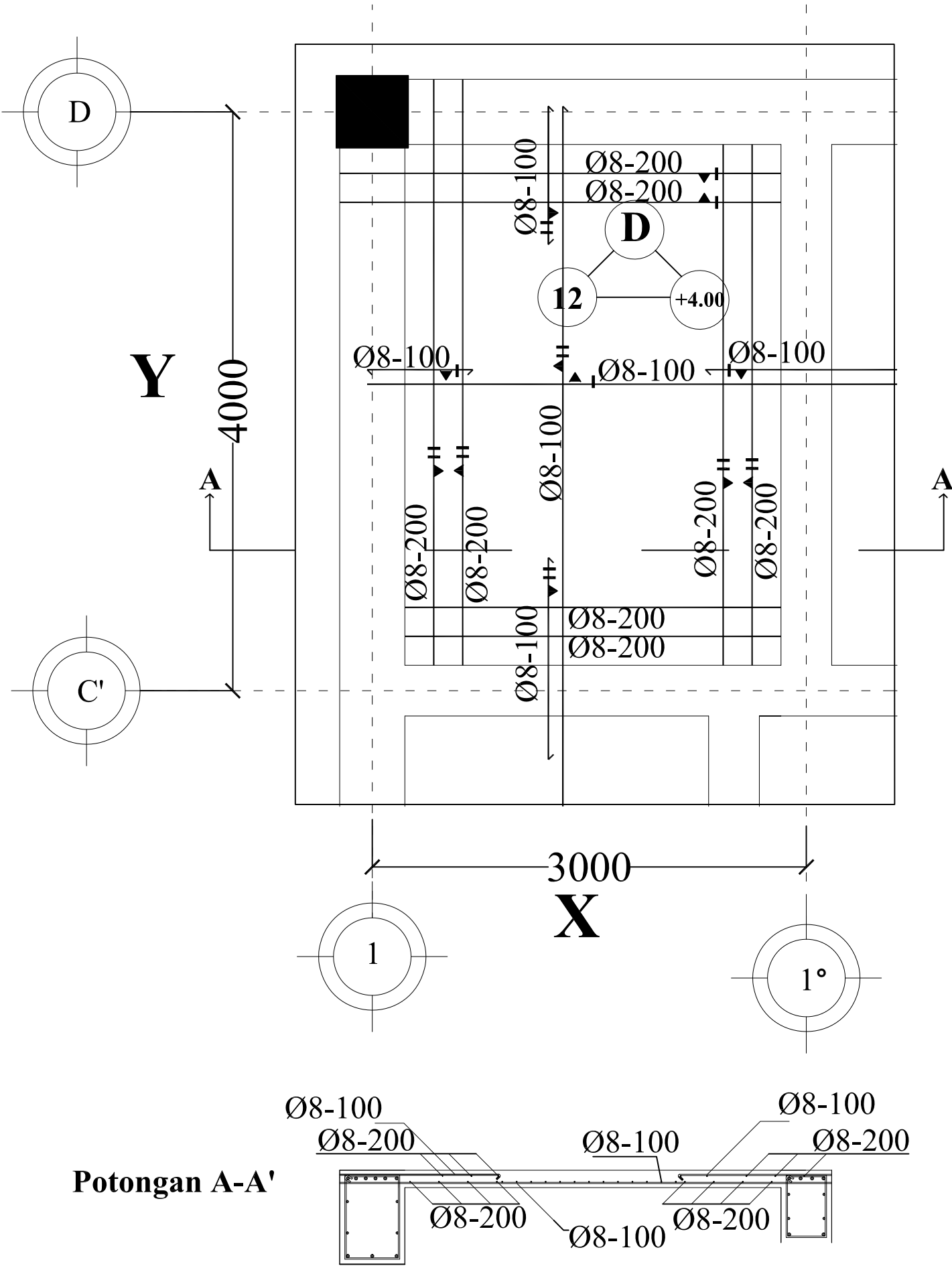
NO GBR

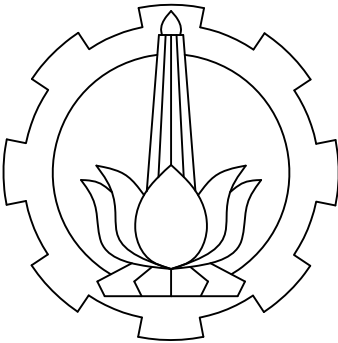
JML GBR

STR

28

59





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

SKALA

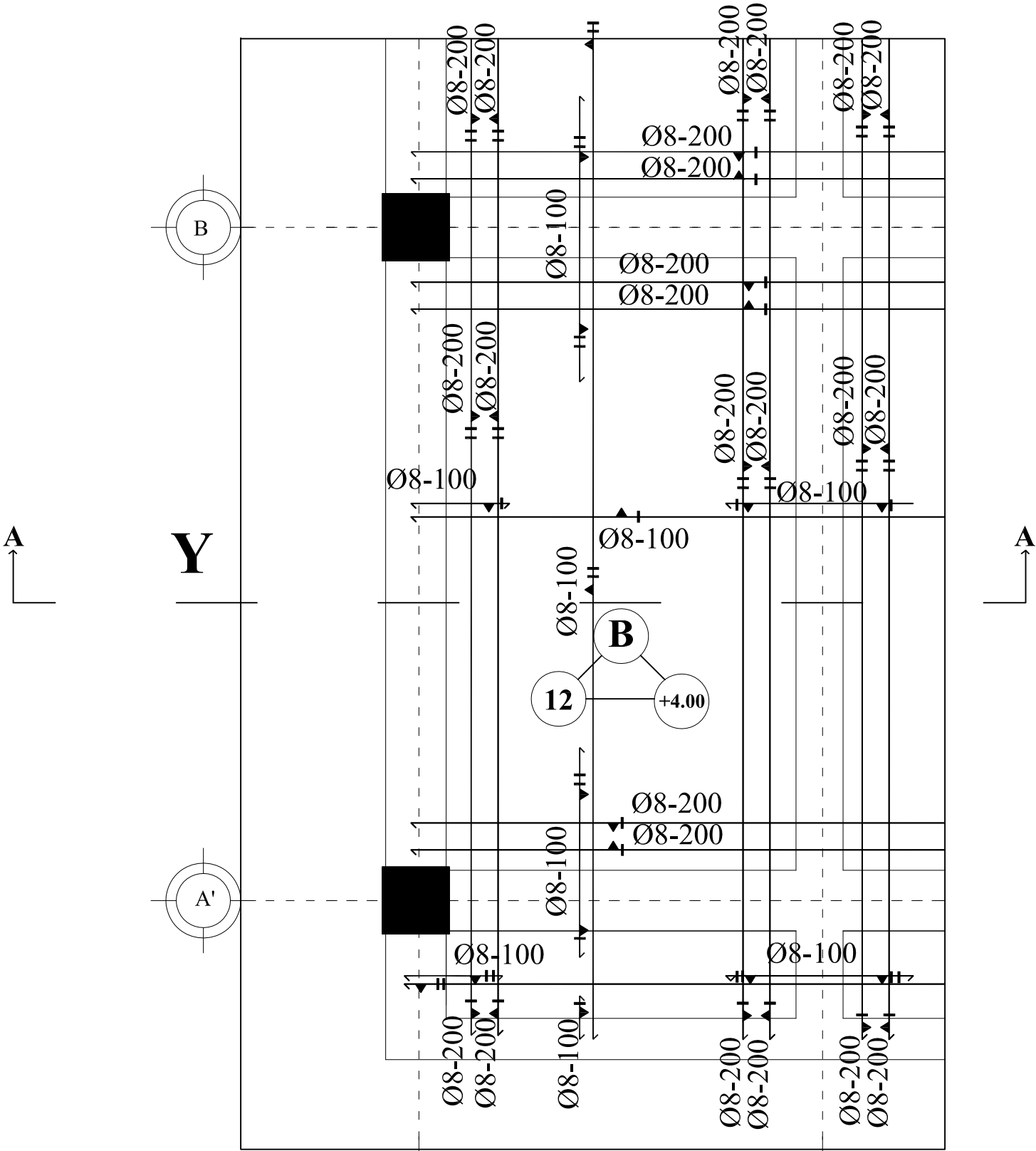
| | |
|--|------|
| Detail penulangan pelat lantai 2 (h=4m) Tipe B (3mx5m) | 1:40 |
|--|------|

KODE GBR

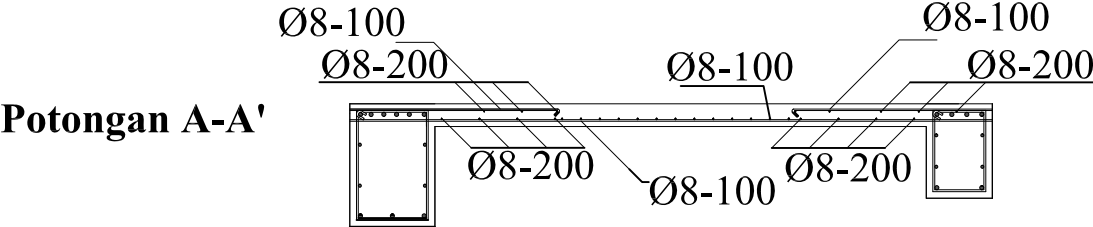
NO GBR

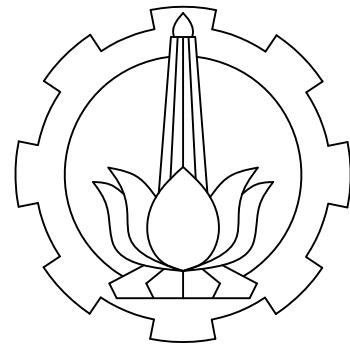
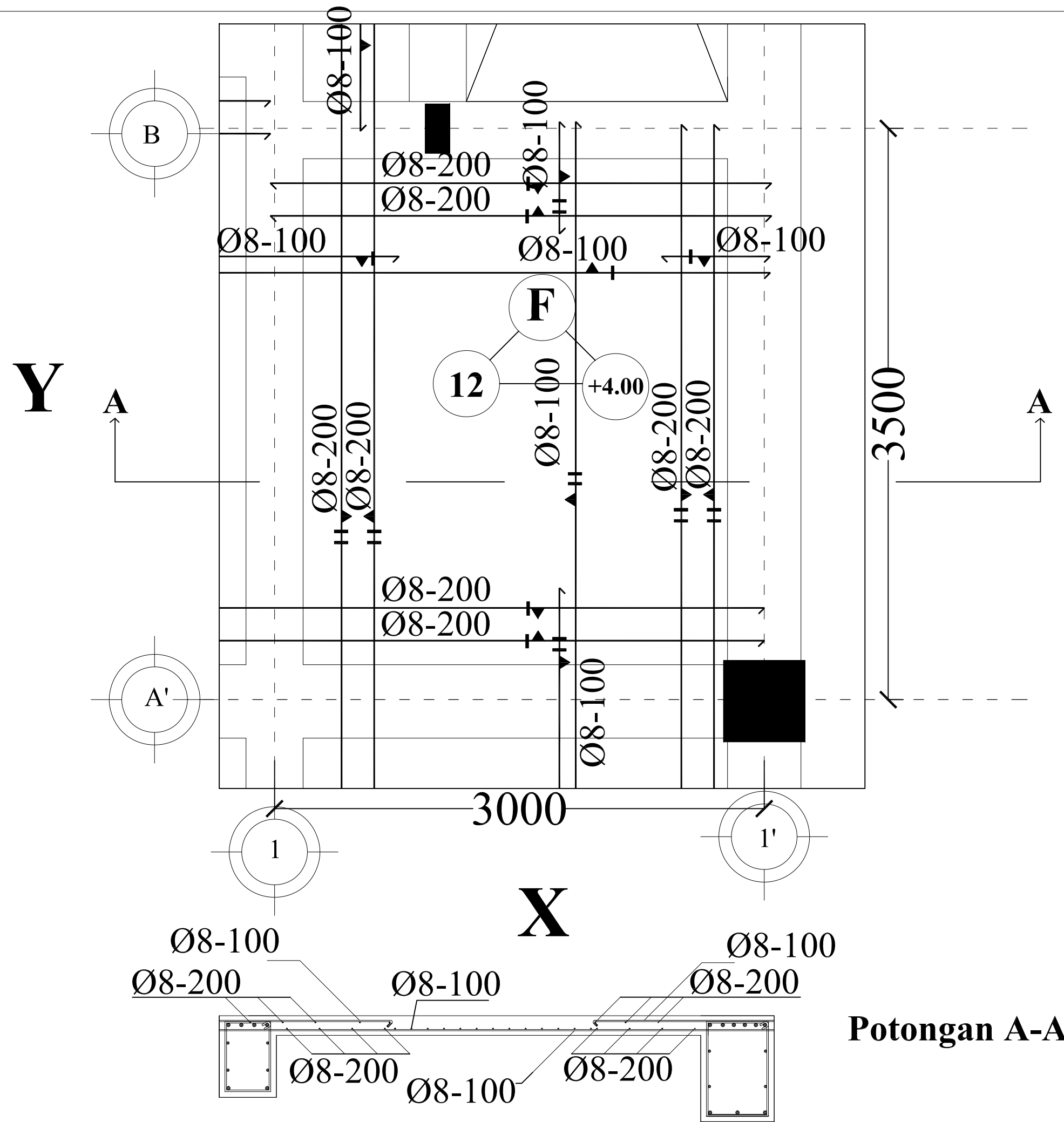
JML GBR

| | | |
|-----|----|----|
| STR | 29 | 59 |
|-----|----|----|



Penulangan Pelat Lt.2 (3mx5m)
(h=4m) Skala 1:40





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | |
|--------|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| TUGAS | |
|---|--|
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | |

| FUNGSI BAGUNAN | |
|--------------------|--|
| GEDUNG PERKANTORAN | |

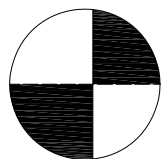
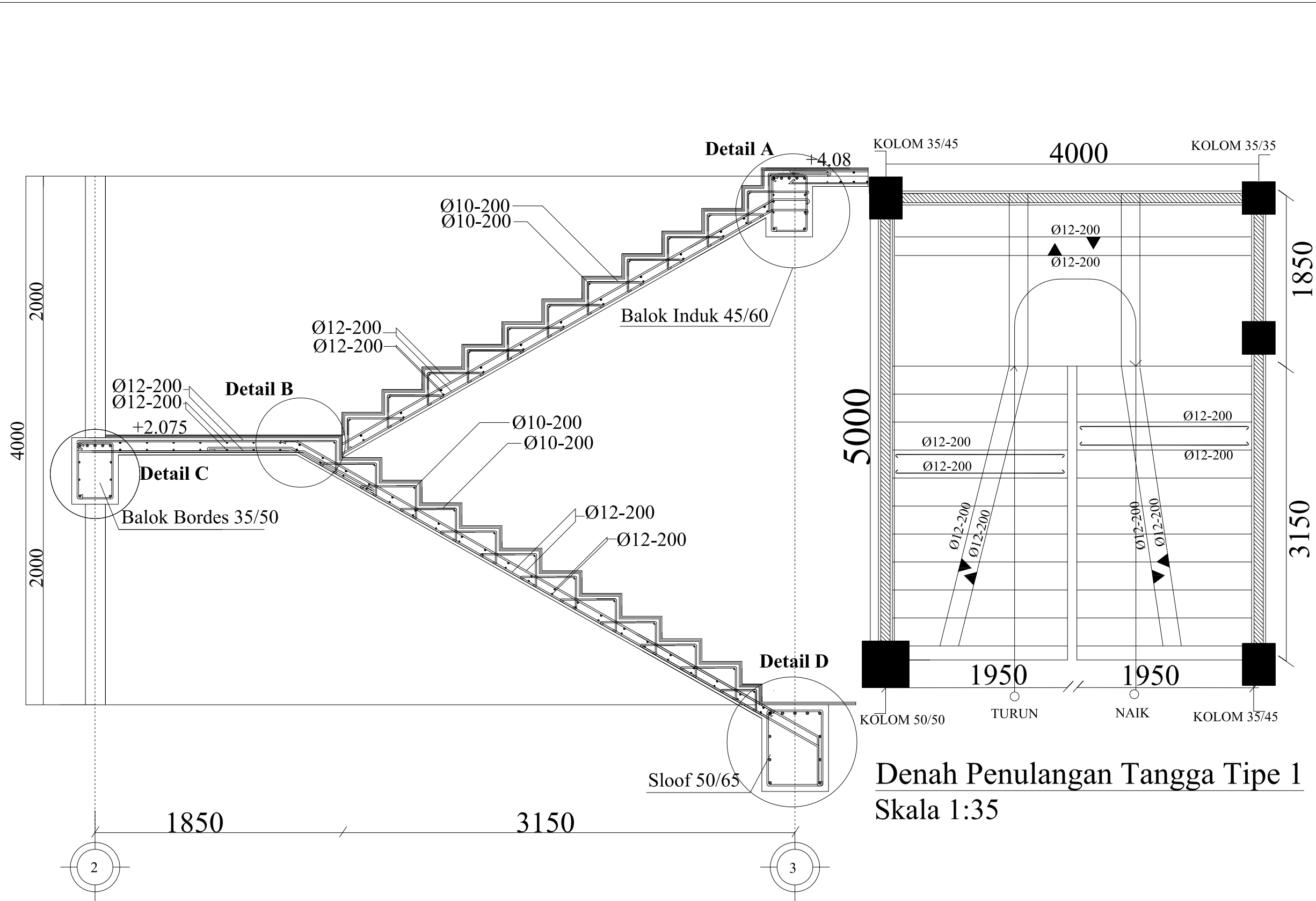
| DOSEN PEMBIMBING | |
|---|--|
| Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd NIP 19630726 198903 1 003 | |

| MAHASISWA | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| JUDUL GAMBAR | SKALA |
|--|-------|
| Detail penulangan pelat lantai 2 (h=4m) Tipe F (3mx3.5m) | 1:25 |

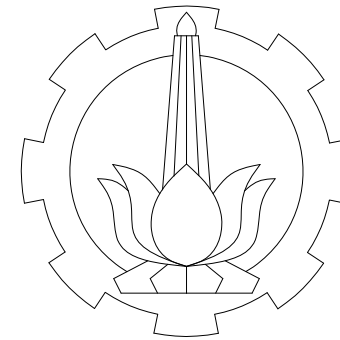
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 30 | 59 |

Potongan A-A'



PENULANGAN TANGGA TIPE 1

Skala 1:50 (h=0m)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

| | |
|--------------------------|------|
| Penulangan Tangga Tipe 1 | 1:50 |
|--------------------------|------|

KODE GBR

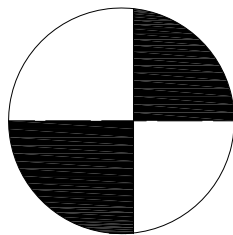
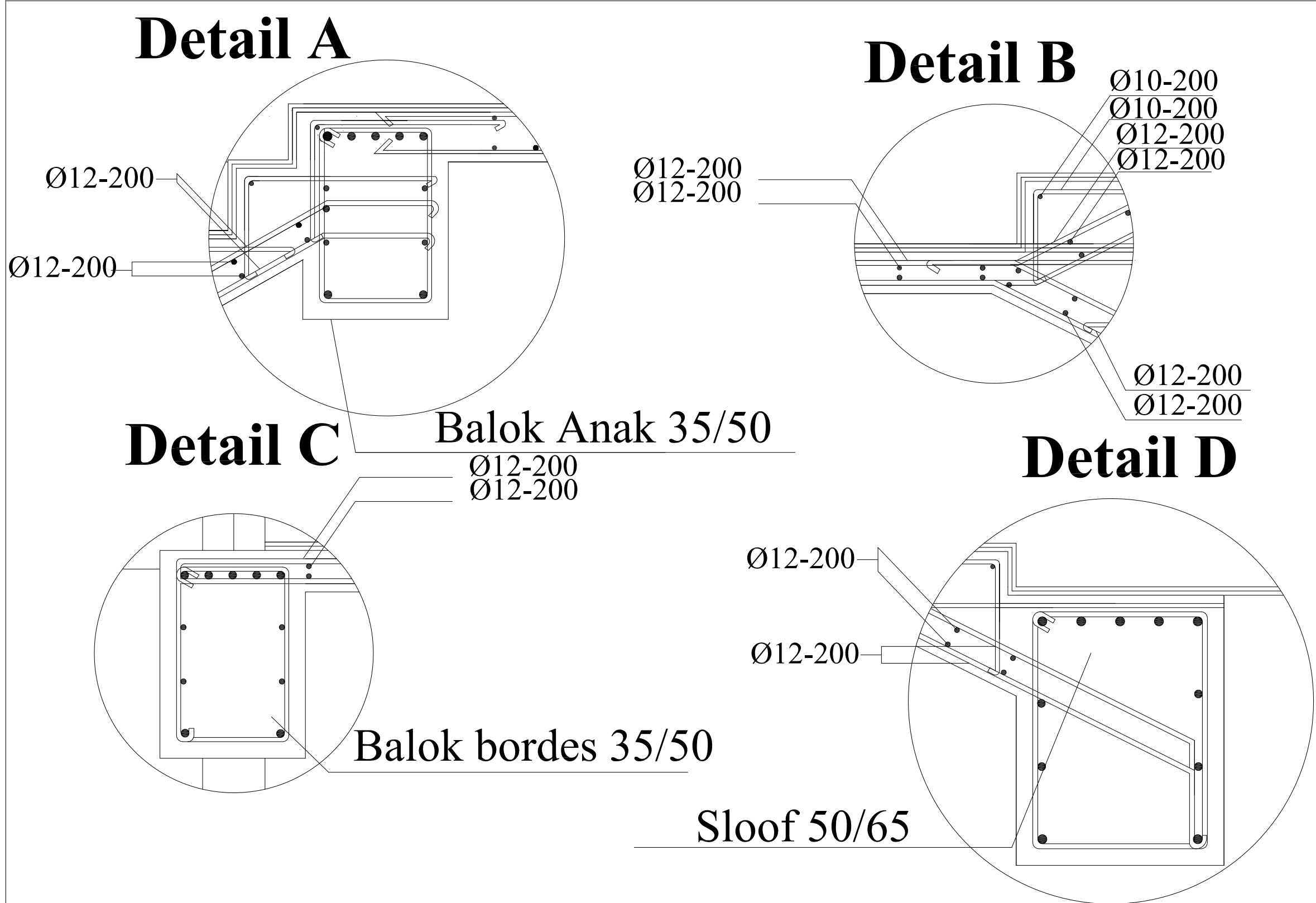
NO GBR

JML GBR

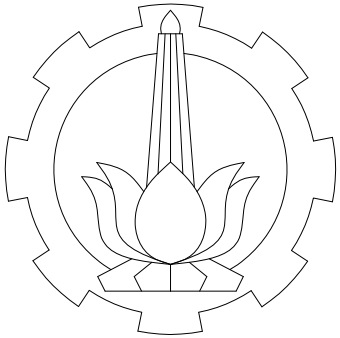
STR

31

59

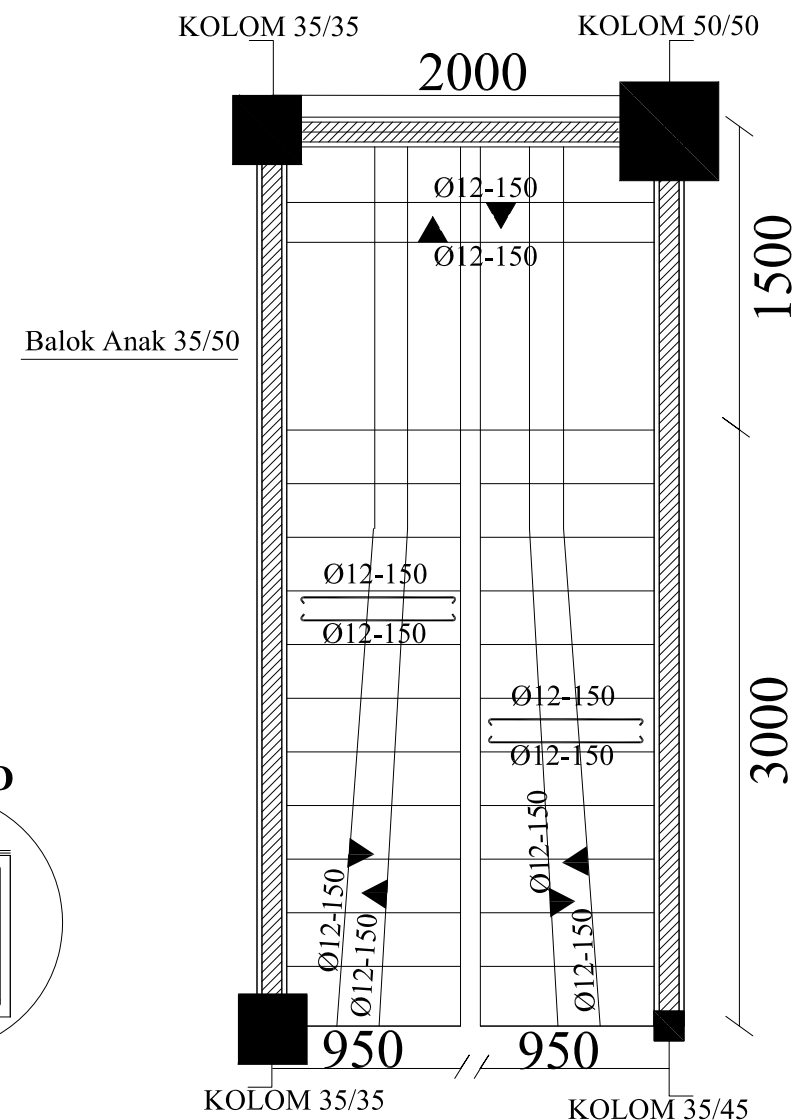
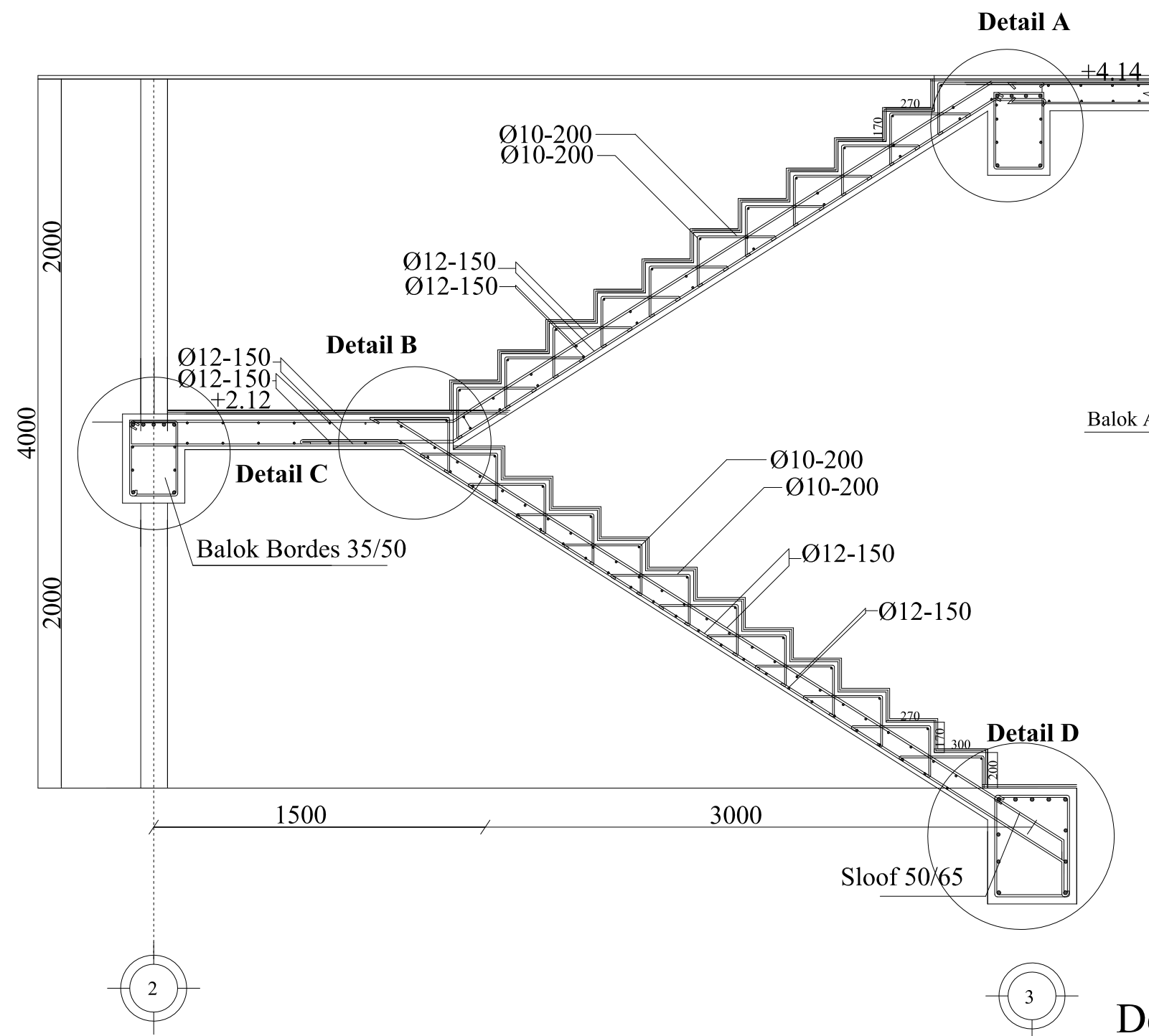


DETAIL TULANGAN TANGGA TIPE 1 AS (2°-3)
Skala 1:10 (h=0m)

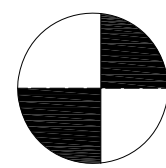


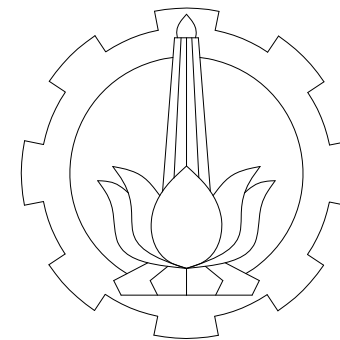
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | | |
|---|--------|---------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| TUGAS | | |
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | | |
| FUNGSI BAGUNAN | | |
| GEDUNG PERKANTORAN | | |
| DOSEN PEMBIMBING | | |
| Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd NIP 131 846 112 | | |
| MAHASISWA | | |
| NUR AFIAH NRP 3113 030 125 ISMI BAROROH NRP 3113 030 132 | | |
| JUDUL GAMBAR | | SKALA |
| Detail Tulangan Tangga Tipe 1 | | 1:10 |
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
| STR | 32 | 59 |



Denah Penulangan Tangga Tipe 2
Skala 1:50

 **PENULANGAN TANGGA TIPE 2**
Skala 1:50 (h=0m)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

Penulangan Tangga Tipe 2

SKALA

1:50

KODE GBR

STR

NO GBR

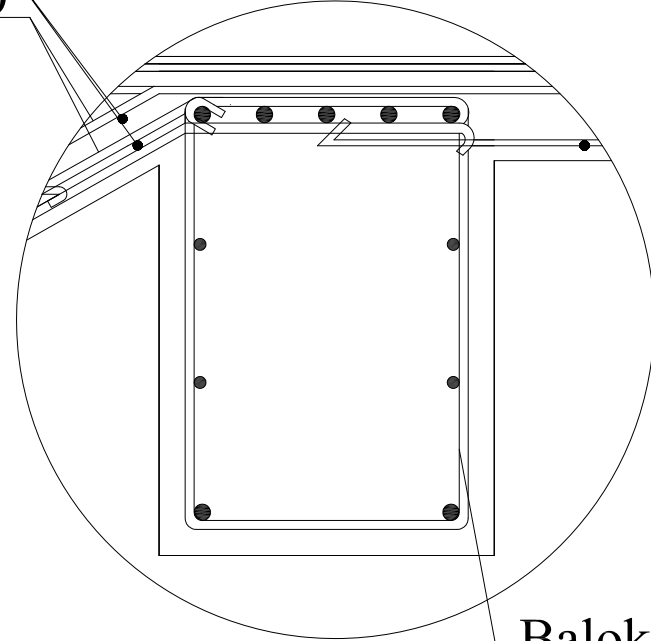
33

JML GBR

59

Ø12-150
Ø12-150

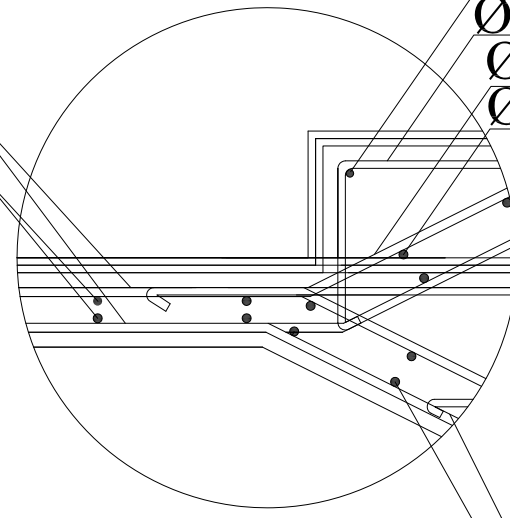
Detail A



Balok Induk 45/65

Detail B

Ø12-150
Ø12-150

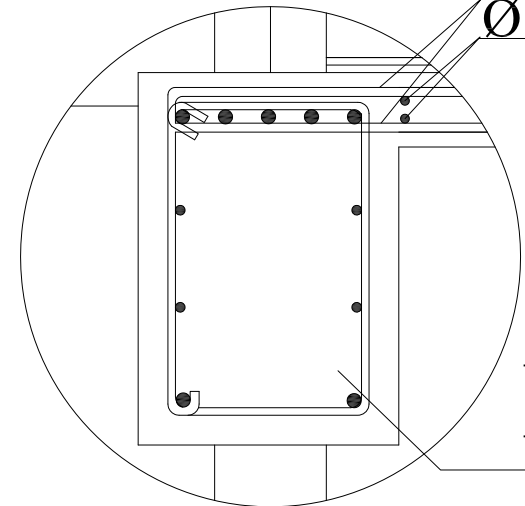


Ø10-200
Ø10-200
Ø12-150
Ø12-150

Ø12-150
Ø12-150

Detail C

Ø12-150
Ø12-150

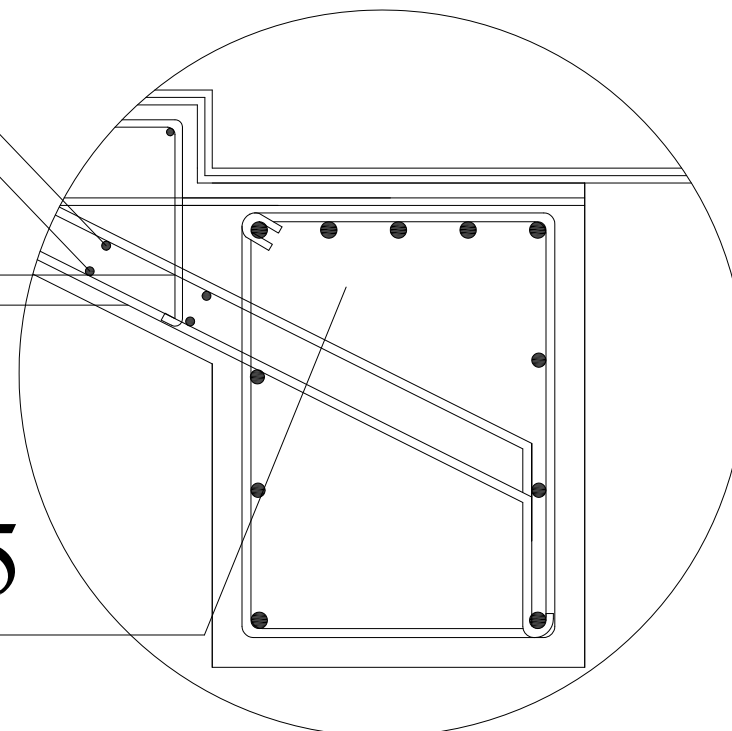


Balok bordes 35/50

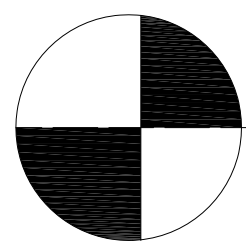
Detail D

Ø12-150

Ø12-150

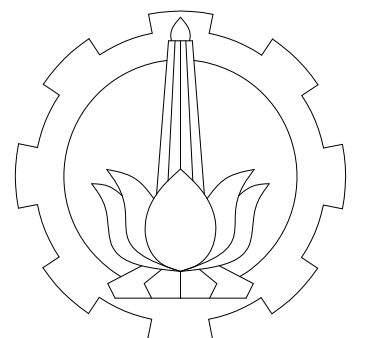


Sloof 50/65



DETAIL TULANGAN TANGGA TIPE 2 AS-D (0-1),(5"-6)

Skala 1:10 (h=0m)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. M. SIGIT D., M.Eng SC, Phd
NIP 131 846 112

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Detail Tulangan Tangga Tipe 2

1:10

KODE GBR

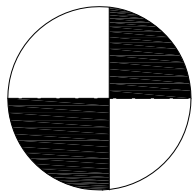
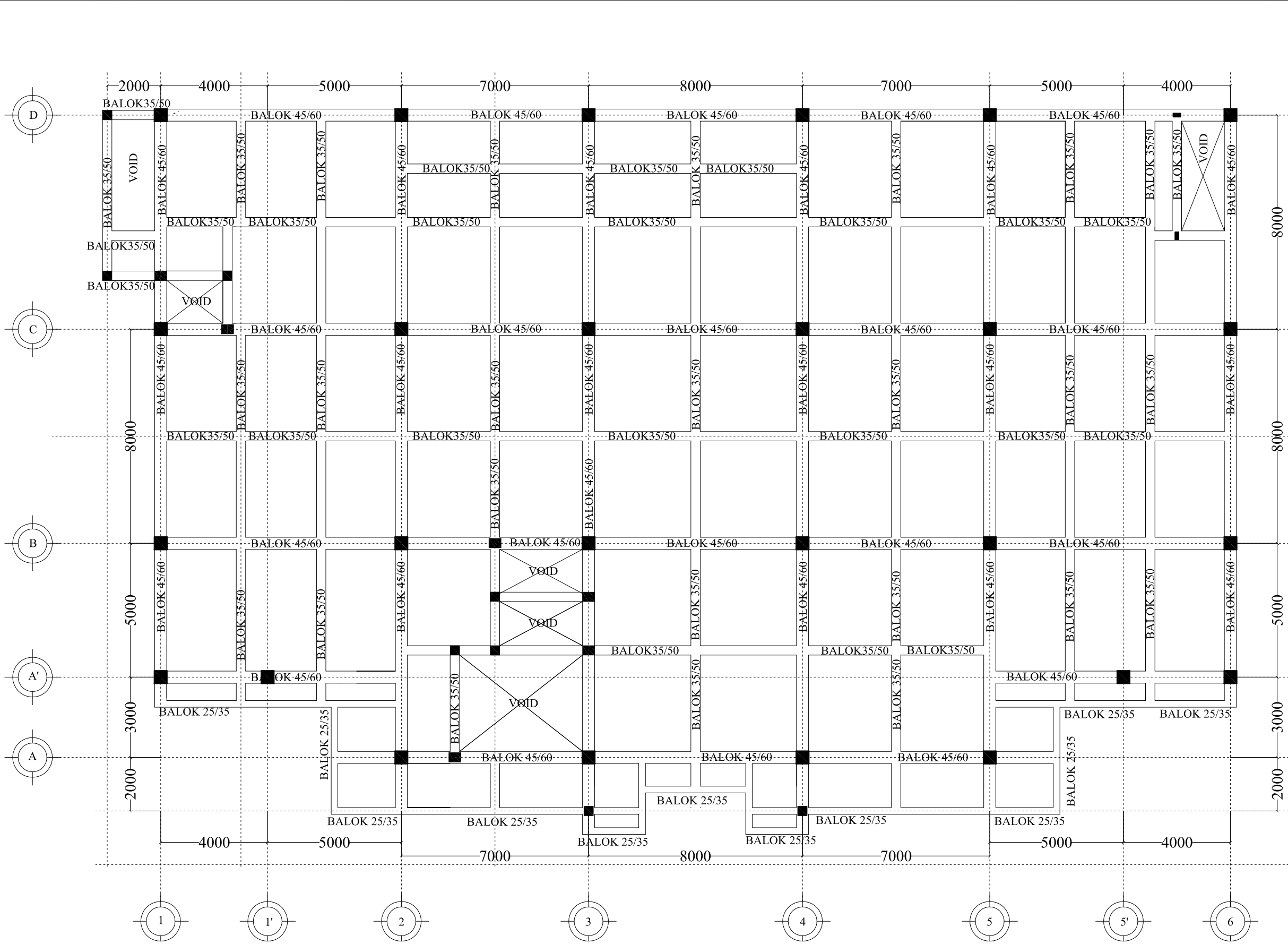
NO GBR

JML GBR

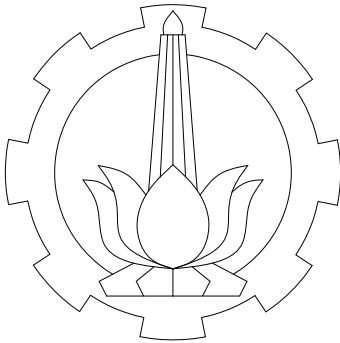
STR

34

59



DENAH BALOK Lt. 2
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

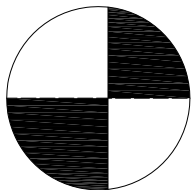
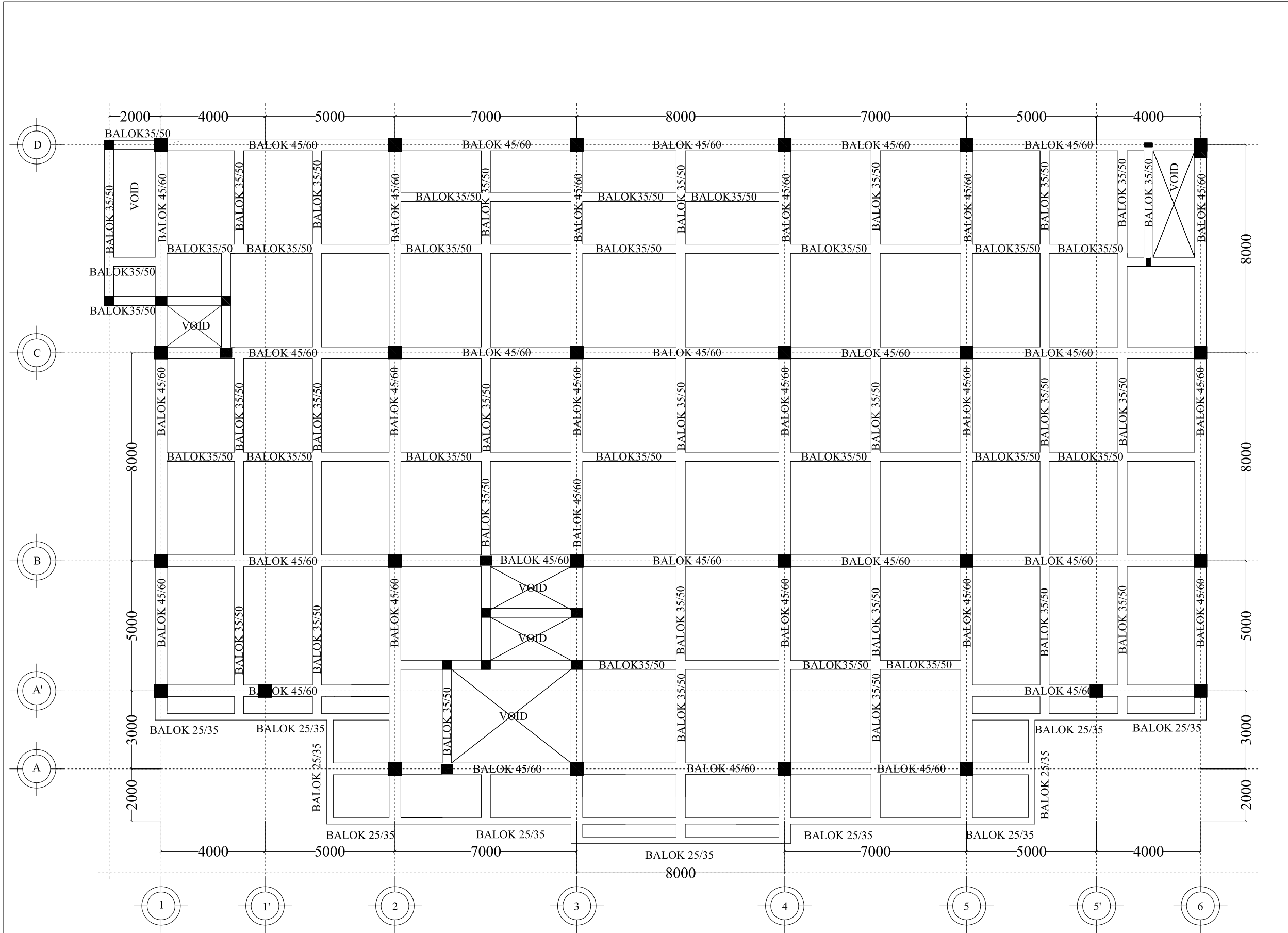
JUDUL GAMBAR

SKALA

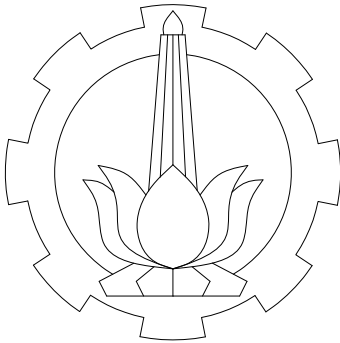
Denah Balok Lantai 2,
(h=4m)

1:150

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 35 | 59 |



DENAH BALOK Lt.3
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Balok Lantai 3 (h=8m)

1:150

KODE GBR

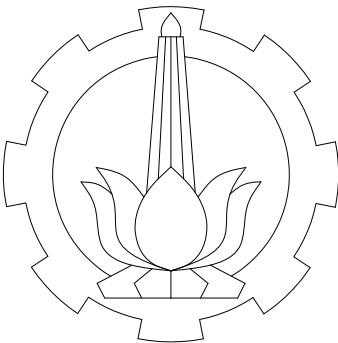
NO GBR

JML GBR

STR

36

59



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Balok Lantai 4 (h=12m)
& Lantai Atap (h=16m)

1:150

KODE GBR

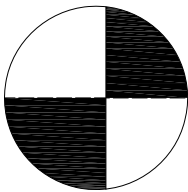
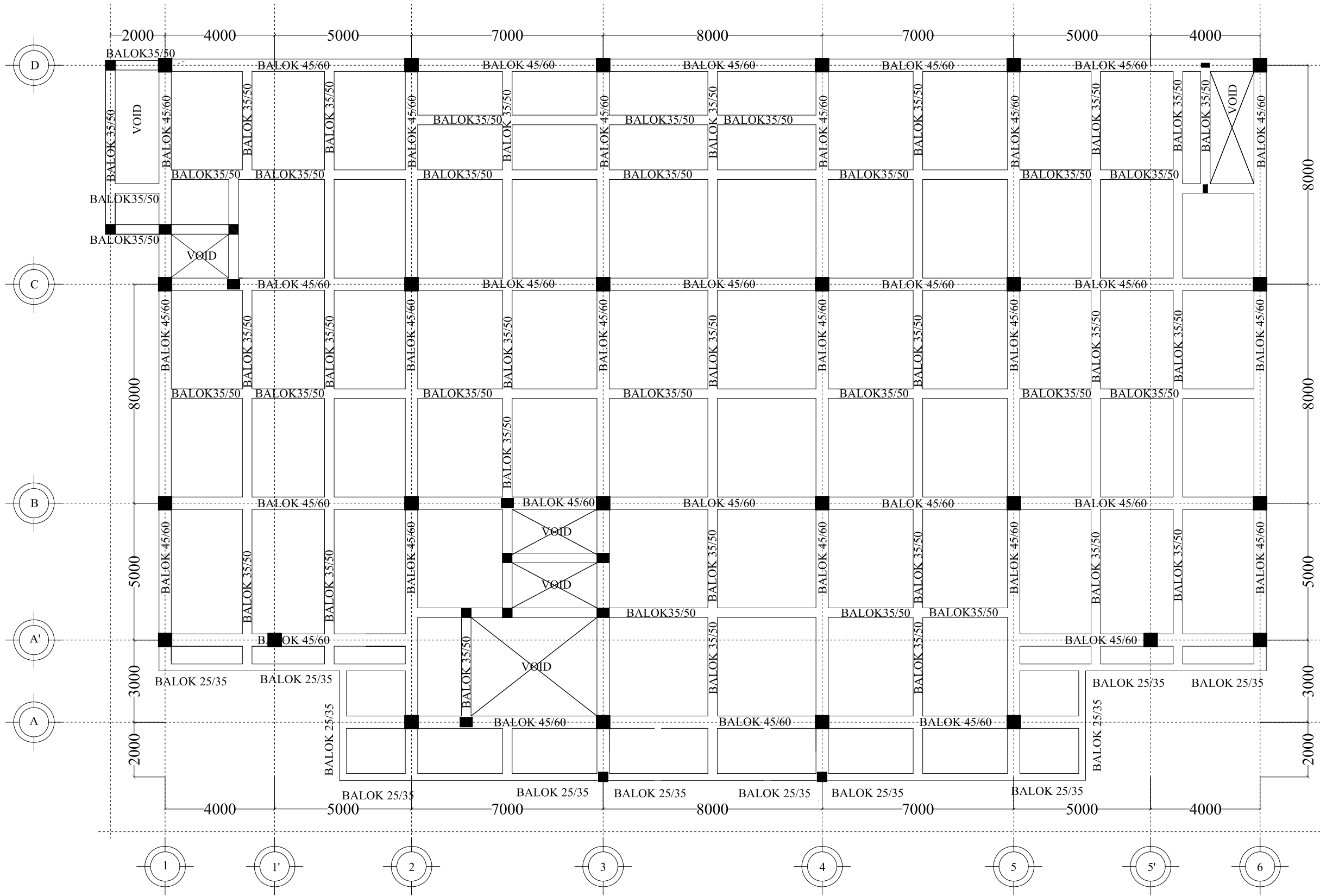
NO GBR

JML GBR

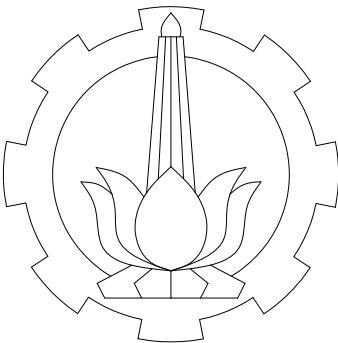
STR

37

59



DENAH BALOK Lt.4 & Lt.Atap
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

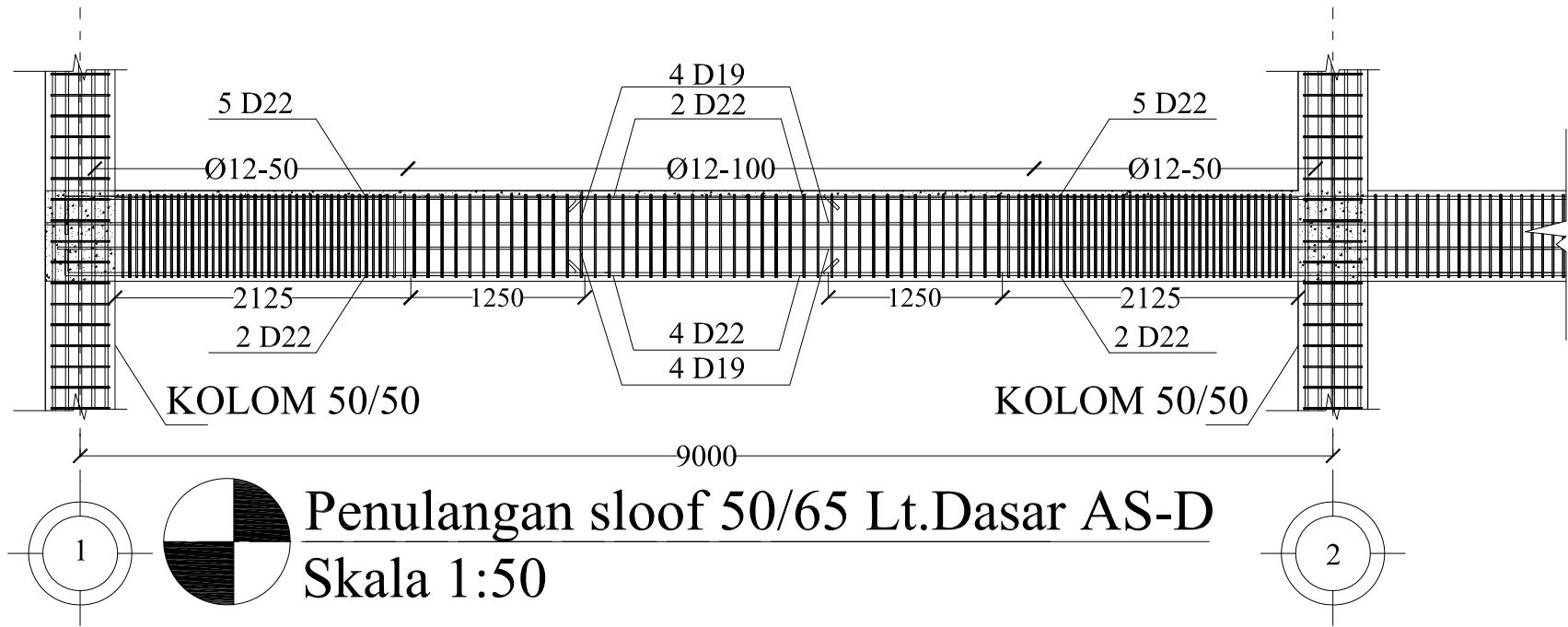
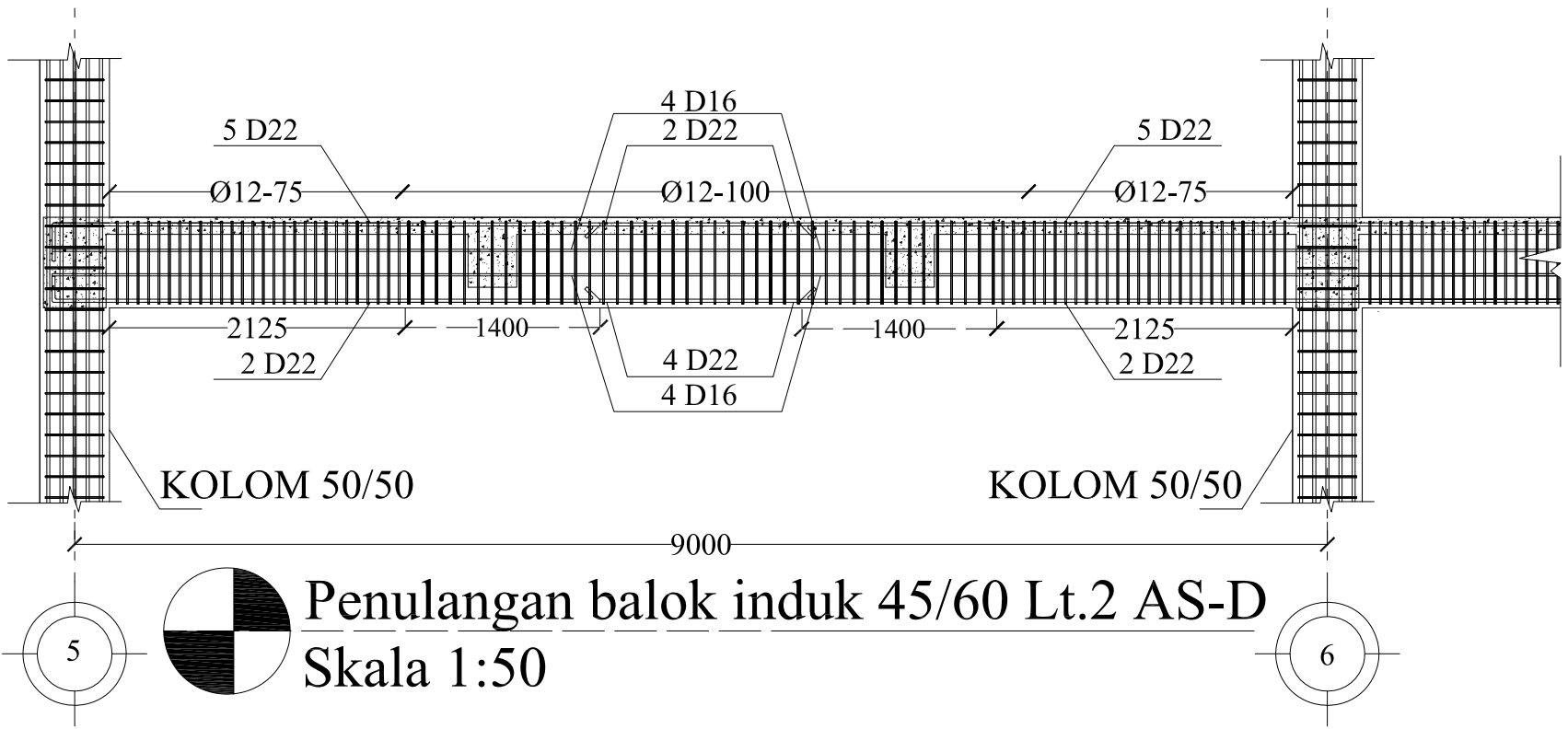
| | |
|--|------|
| Penulangan Balok Induk (h=4m) Penulangan Sloof (h=0m) | 1:50 |
|--|------|

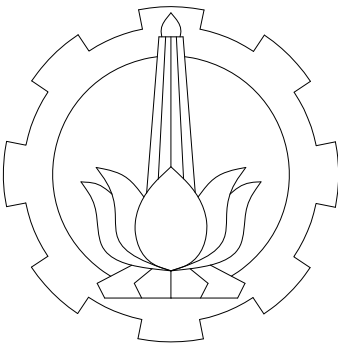
KODE GBR

NO GBR

JML GBR

| | | |
|-----|----|----|
| STR | 38 | 59 |
|-----|----|----|





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Penulangan Balok Bordes (h=6m)
Penulangan Balok Anak (h=4m)

1:30

KODE GBR

NO GBR

JML GBR

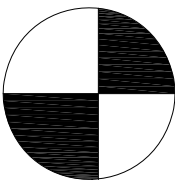
STR

39

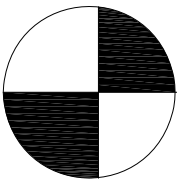
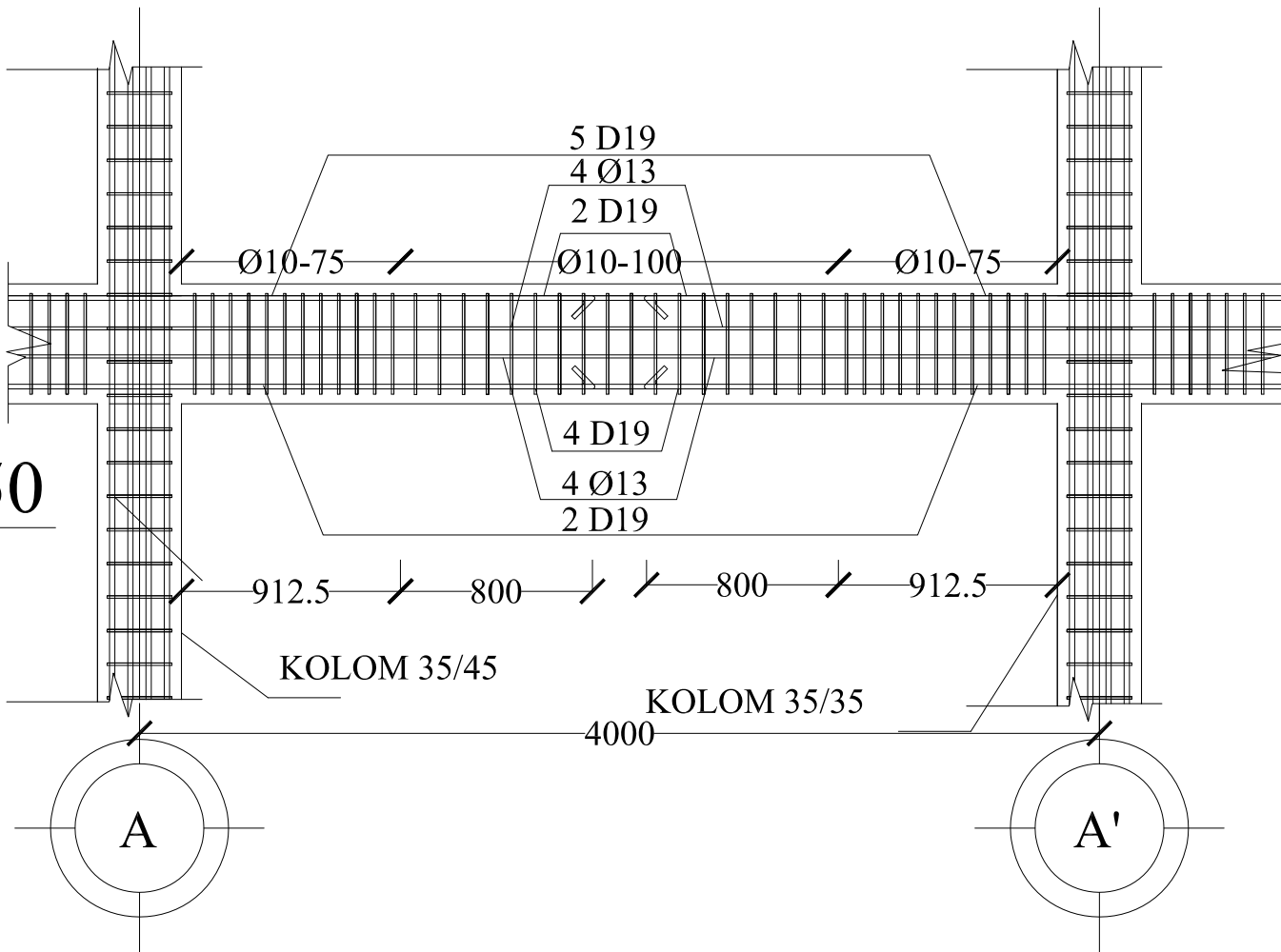
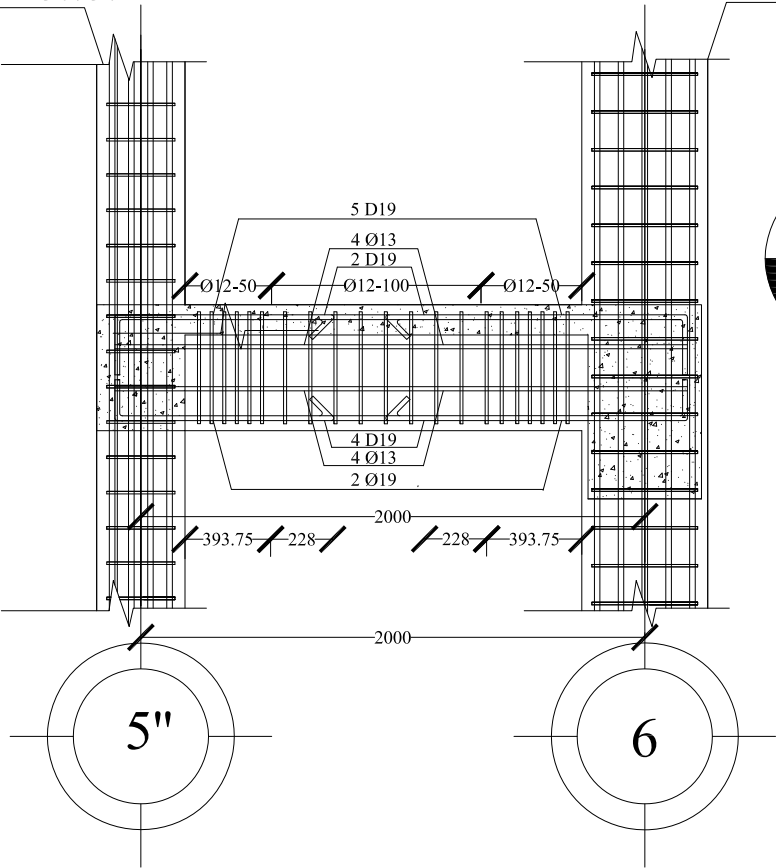
59

KOLOM 35/35

KOLOM 50/50

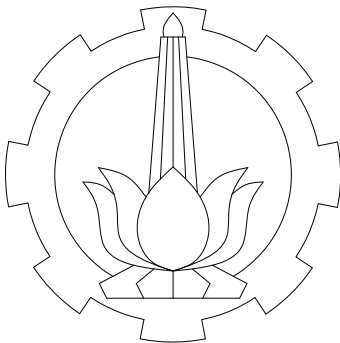


Penulangan balok bordes 35/50
Lt.3 AS-D Skala 1:50



Penulangan balok anak 35/50
Lt.2 AS-2 Skala 1:30

REKAPITULASI PENULANGAN BALOK



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

JUDUL GAMBAR

| | |
|--|-------|
| Rekapitulasi Penulangan Balok NB : Penulangan balok typikal di semua lantai | 1:200 |
|--|-------|

KODE GBR NO GBR JML GBR

| | | |
|-----|----|----|
| STR | 40 | 59 |
|-----|----|----|

Balok Induk Memanjang 45/60 AS-(A,A',B,C,D)

Balok Induk Memanjang 45/60

| | | |
|------------|---------|----------|
| | | |
| DAERAH | Tumpuan | Lapangan |
| Tul.Atas | 5 D22 | 2 D22 |
| Tul.Tengah | 4 D16 | 4 D16 |
| Tul.Bawah | 2 D22 | 4 D22 |
| Sengkang | Ø12-75 | Ø12-100 |

Balok Anak Memanjang 35/50 AS-(A'',B',C°,C',C'')

Balok Anak Memanjang 35/50

| | | |
|------------|---------|----------|
| | | |
| DAERAH | Tumpuan | Lapangan |
| Tul.Atas | 4 D19 | 2 D19 |
| Tul.Tengah | 4 D13 | 4 D13 |
| Tul.Bawah | 2 D19 | 3 D19 |
| Sengkang | Ø10-75 | Ø10-100 |

Balok Kantilever 25/35 (AS-a)(AS-1''',5°)

Balok Kantilever 25/35

| | | |
|------------|---------|----------|
| | | |
| DAERAH | Tumpuan | Lapangan |
| Tul.Atas | 2 D16 | 2 D13 |
| Tul.Tengah | 2 D13 | 2 D13 |
| Tul.Bawah | 2 D13 | 2 D16 |
| Sengkang | Ø10-50 | Ø10-65 |

Balok Induk Melintang 45/60 AS-(1,2,3,4,5,6)

Balok Induk Melintang 45/60

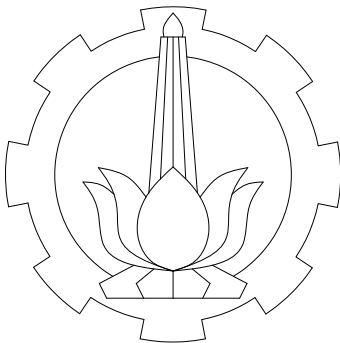
| | | |
|--|---------|----------|
| | | |
| | Tumpuan | Lapangan |
| | 5 D22 | 2 D22 |
| | 4 D16 | 4 D16 |
| | 2 D22 | 4 D22 |
| | Ø12-100 | Ø12-125 |

Balok Anak Melintang 35/50 AS-(1°,1'',2°,2',3',4',5°,5'')

Balok Anak Melintang 35/50

| | | |
|--|---------|----------|
| | | |
| | Tumpuan | Lapangan |
| | 5 D19 | 2 D19 |
| | 4 D13 | 4 D13 |
| | 2 D19 | 4 D19 |
| | Ø12-75 | Ø12-100 |

REKAPITULASI PENULANGAN BALOK & KOLOM



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Rekapitulasi Penulangan
Balok & Kolom
NB : Penulangan balok & kolom
typikal di semua lantai

1:200

KODE GBR

NO GBR

JML GBR

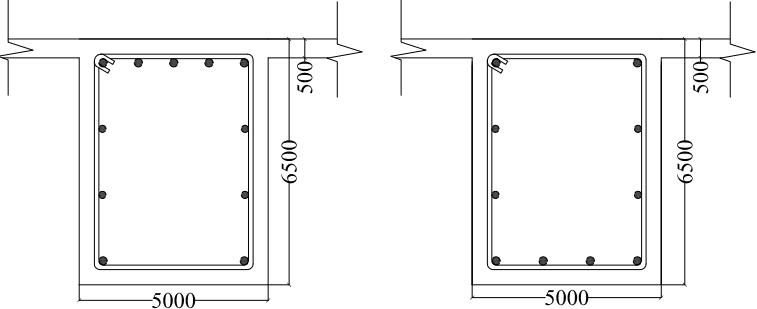
STR

41

59

Balok Sloof Memanjang 50/65 AS-(A,A',B,C,D)

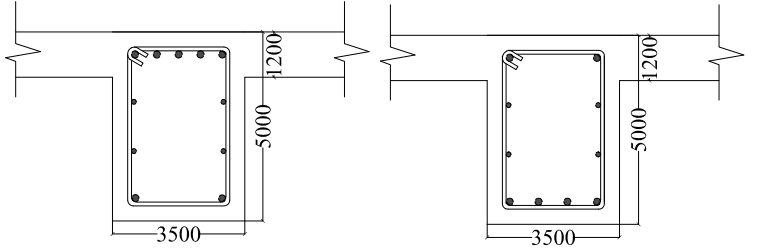
Balok Sloof Memanjang 50/65



| DAERAH | Tumpuan | Lapangan |
|------------|---------|----------|
| Tul.Atas | 5 D22 | 2 D22 |
| Tul.Tengah | 4 D19 | 4 D19 |
| Tul.Bawah | 2 D22 | 4 D22 |
| Sengkang | Ø12-50 | Ø12-100 |

Balok Bordes 35/50 AS-D (0-1, 5'''-6), AS-2°(A-A'')

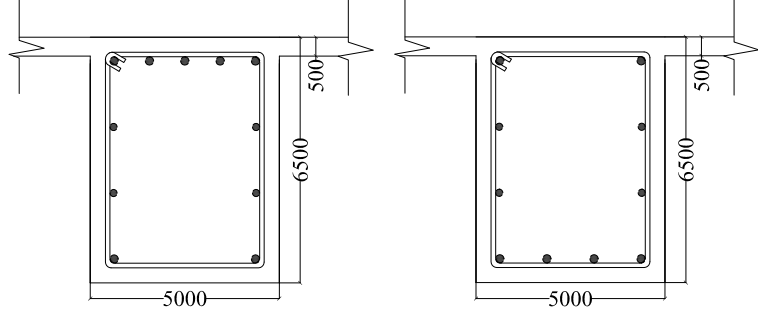
Balok Bordes 35/50



| DAERAH | Tumpuan | Lapangan |
|------------|---------|----------|
| Tul.Atas | 5 D19 | 2 D19 |
| Tul.Tengah | 4 D13 | 4 D13 |
| Tul.Bawah | 2 D19 | 4 D19 |
| Sengkang | Ø12-50 | Ø12-100 |

Balok Sloof Melintang 50/65AS-(1,2,3,4,5,6)

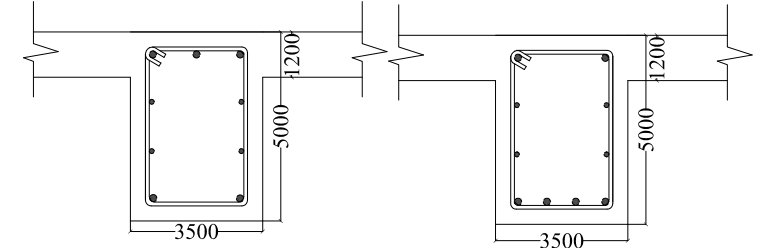
Balok Sloof Melintang 50/65



| Tumpuan | Lapangan |
|---------|----------|
| 5 D22 | 2 D22 |
| 4 D19 | 4 D19 |
| 2 D22 | 4 D22 |
| Ø12-100 | Ø12-125 |

Balok Lift 35/50 AS-2'' (A''-B), AS-1°(C-C°)

Balok Lift 35/50

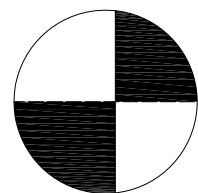
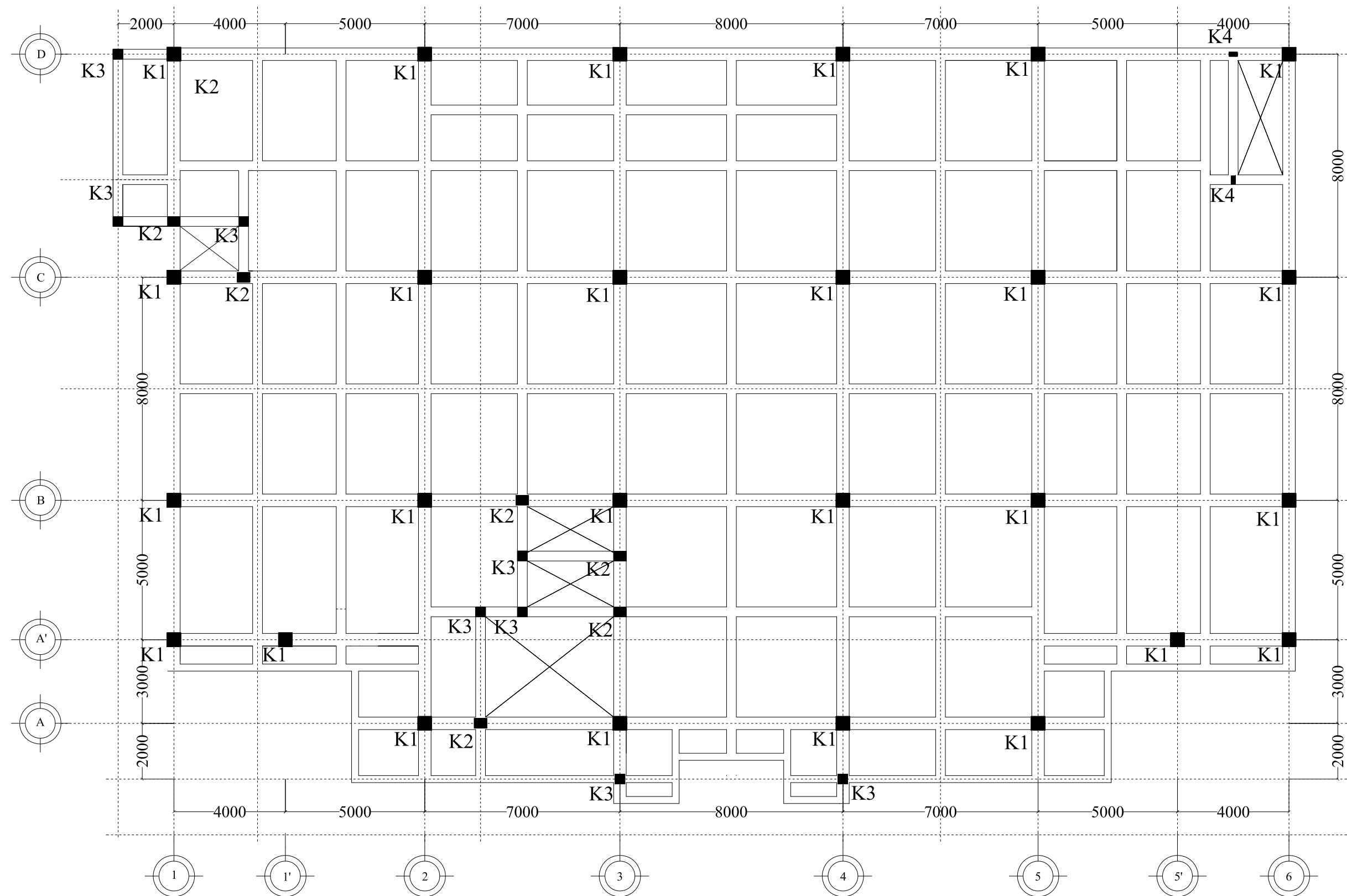


| Tumpuan | Lapangan |
|---------|----------|
| 3 D19 | 2 D19 |
| 4 D13 | 4 D13 |
| 2 D19 | 4 D19 |
| Ø10-75 | Ø10-100 |

KETERANGAN :

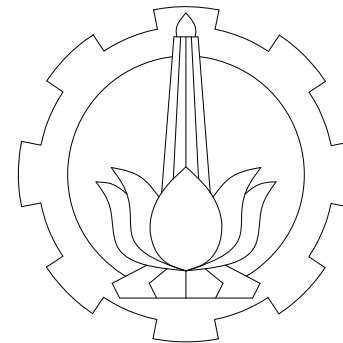
Kolom 35/35 (AS-C°,0),(AS-D,0), (AS-C°,1°),(AS 2°-A''),(AS-A'',2°),(AS-A'',2''),(A'',2'')
Kolom 35/45 (AS-C°,1),(AS-A,2°), (AS-B,2''),(AS-A',3),(AS-A'',3)
Kolom 50/50 AS-A (2,3,4,5), AS-A' (1,1',5',6), AS-B (1,2,3,4,5,6), AS-C (1,2,3,4,5,6),
AS-B (1,2,3,4,5,6), AS-D (1,2,3,4,5,6)

| | Kolom 35/35 | Kolom 35/45 | Kolom 50/50 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | |
| Tul. Lentur | 12 D22 | 12 D22 | 16 D 22 |
| Sengkang | Ø10-140 | Ø10-150 | Ø10-150 |



DENAH KOLOM LT.1
Skala 1:150 (h=4m)

| Keterangan | Dimensi |
|------------|-------------|
| K1 | 50cm x 50cm |
| K2 | 35cm x 45cm |
| K3 | 35cm x 35cm |
| K4 | 15cm x 30cm |



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

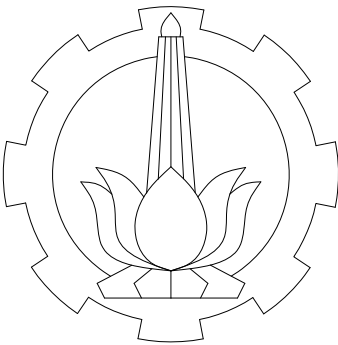
JUDUL GAMBAR

SKALA

Denah Kolom Lantai 1

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 42 59



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

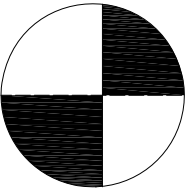
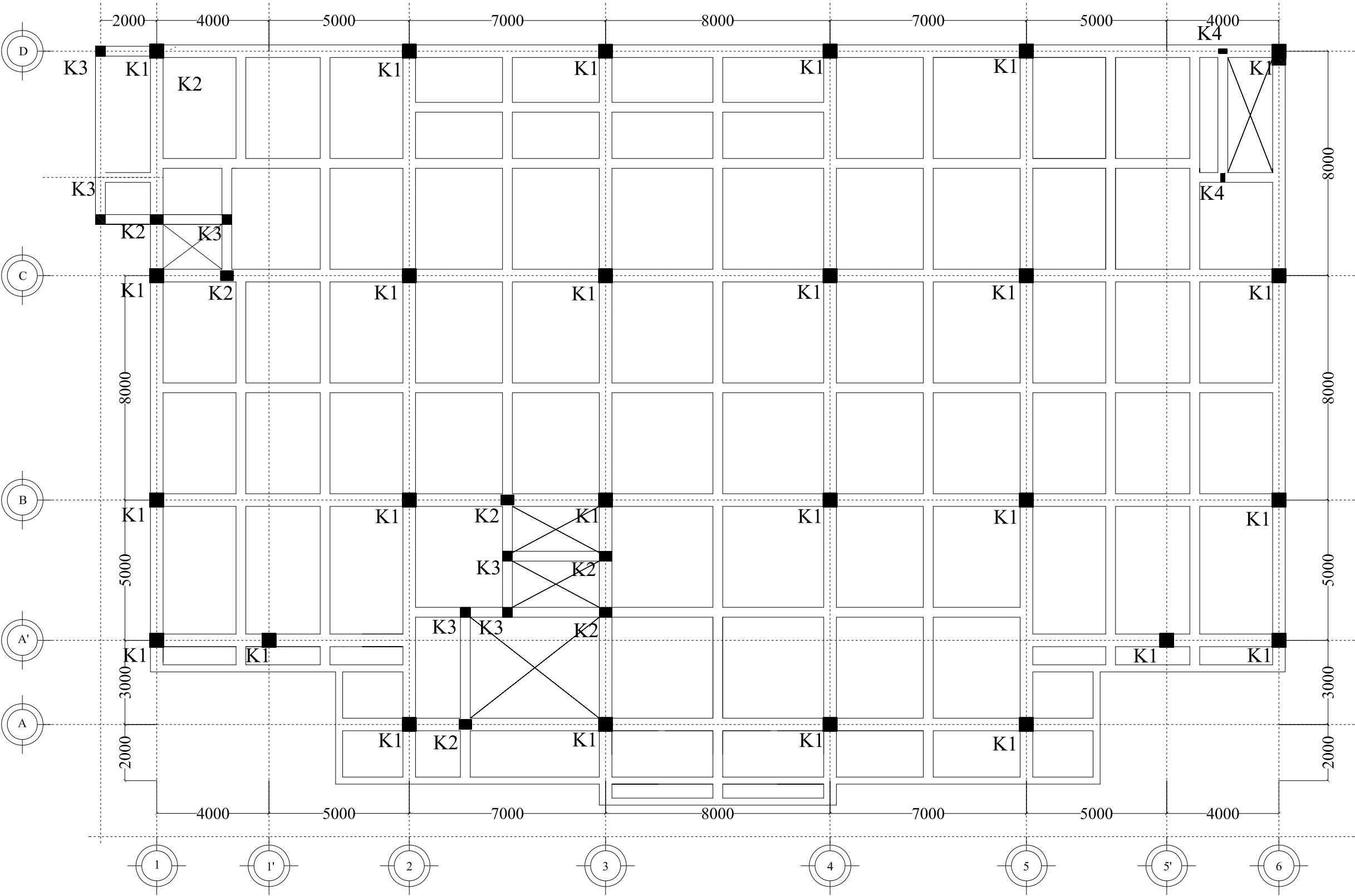
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

Denah Kolom Lantai 2,3 & 4

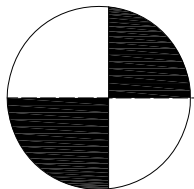
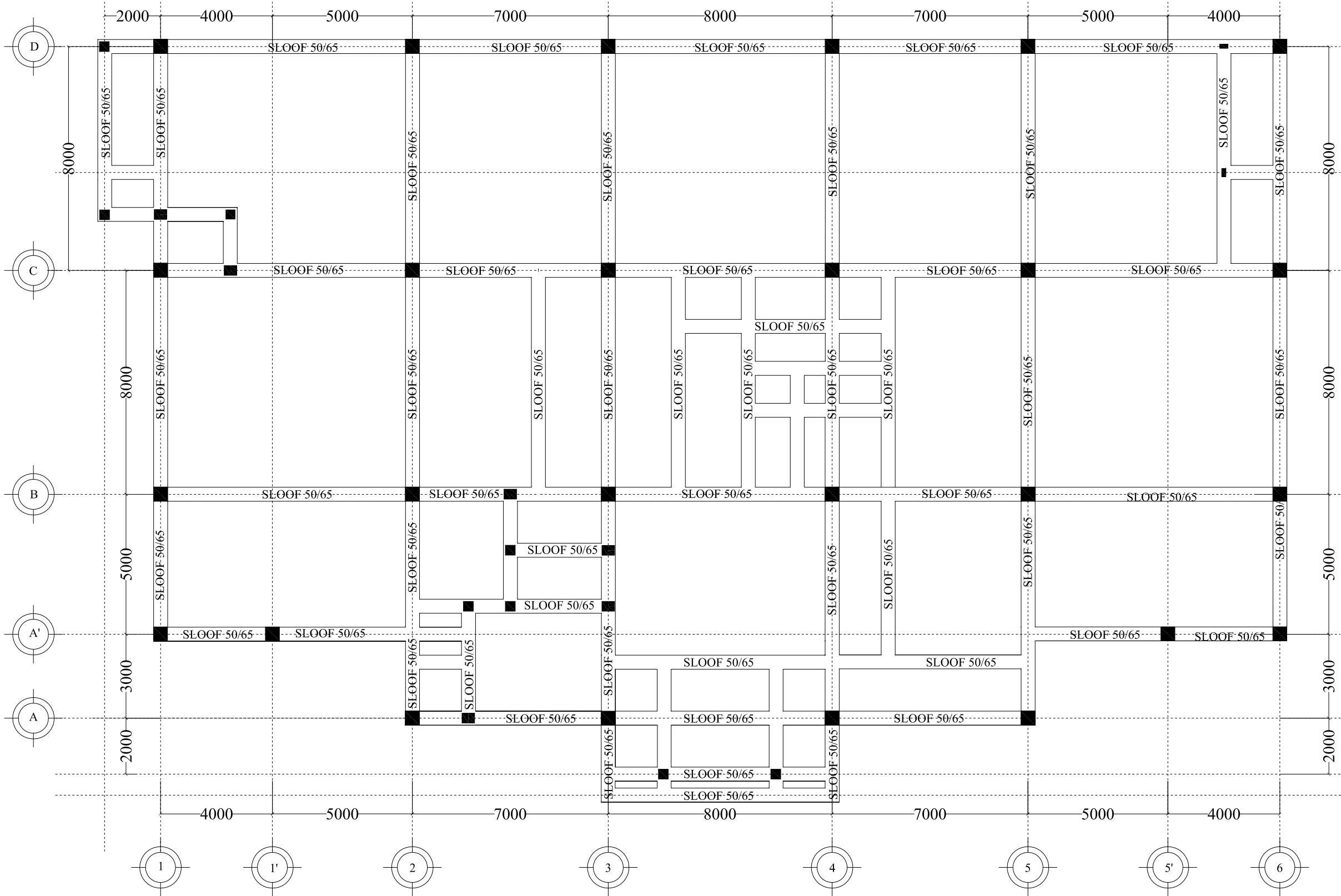
SKALA

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 43 | 59 |

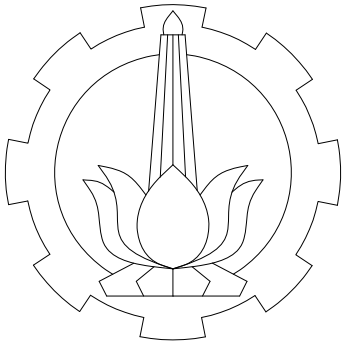


DENAH KOLOM LT.2,3 &4
Skala 1:150 (h=4m,8m,12m)

| Keterangan | Dimensi |
|------------|-------------|
| K1 | 50cm x 50cm |
| K2 | 35cm x 45cm |
| K3 | 35cm x 35cm |
| K4 | 15cm x 30cm |



DENAH SLOOF
Skala 1:150



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

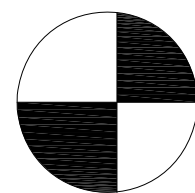
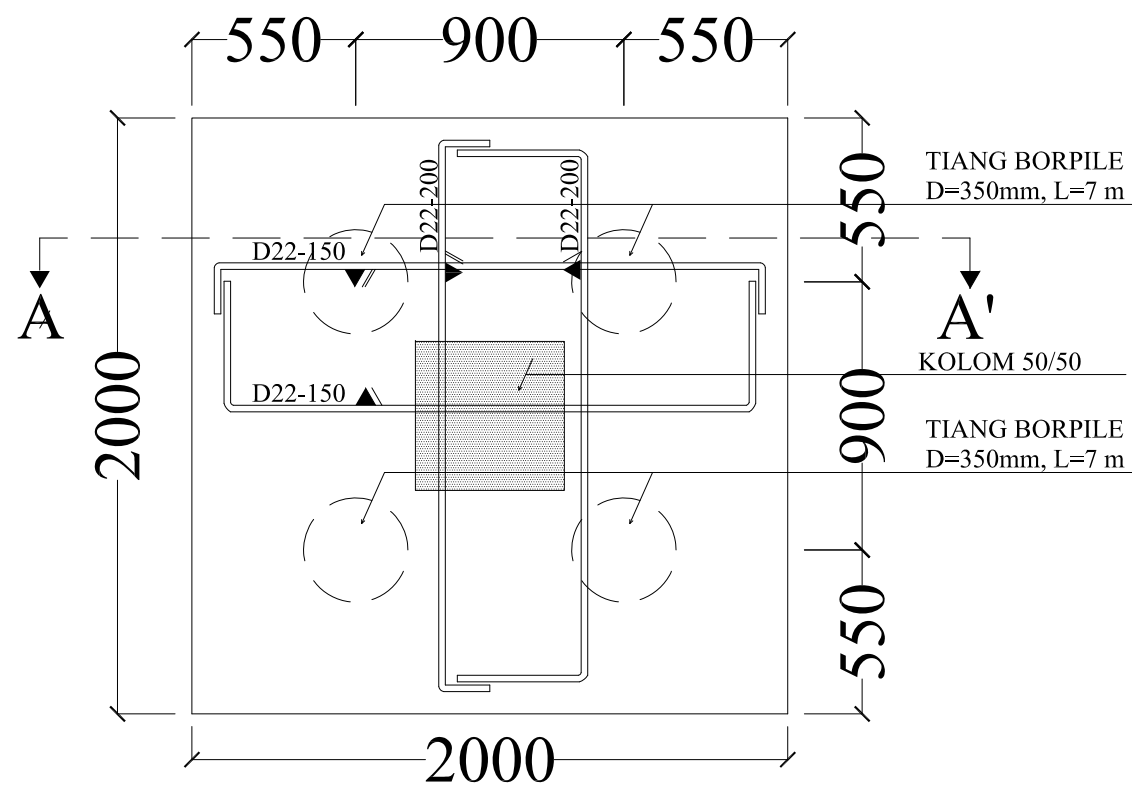
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

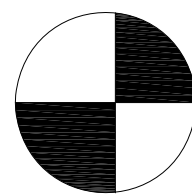
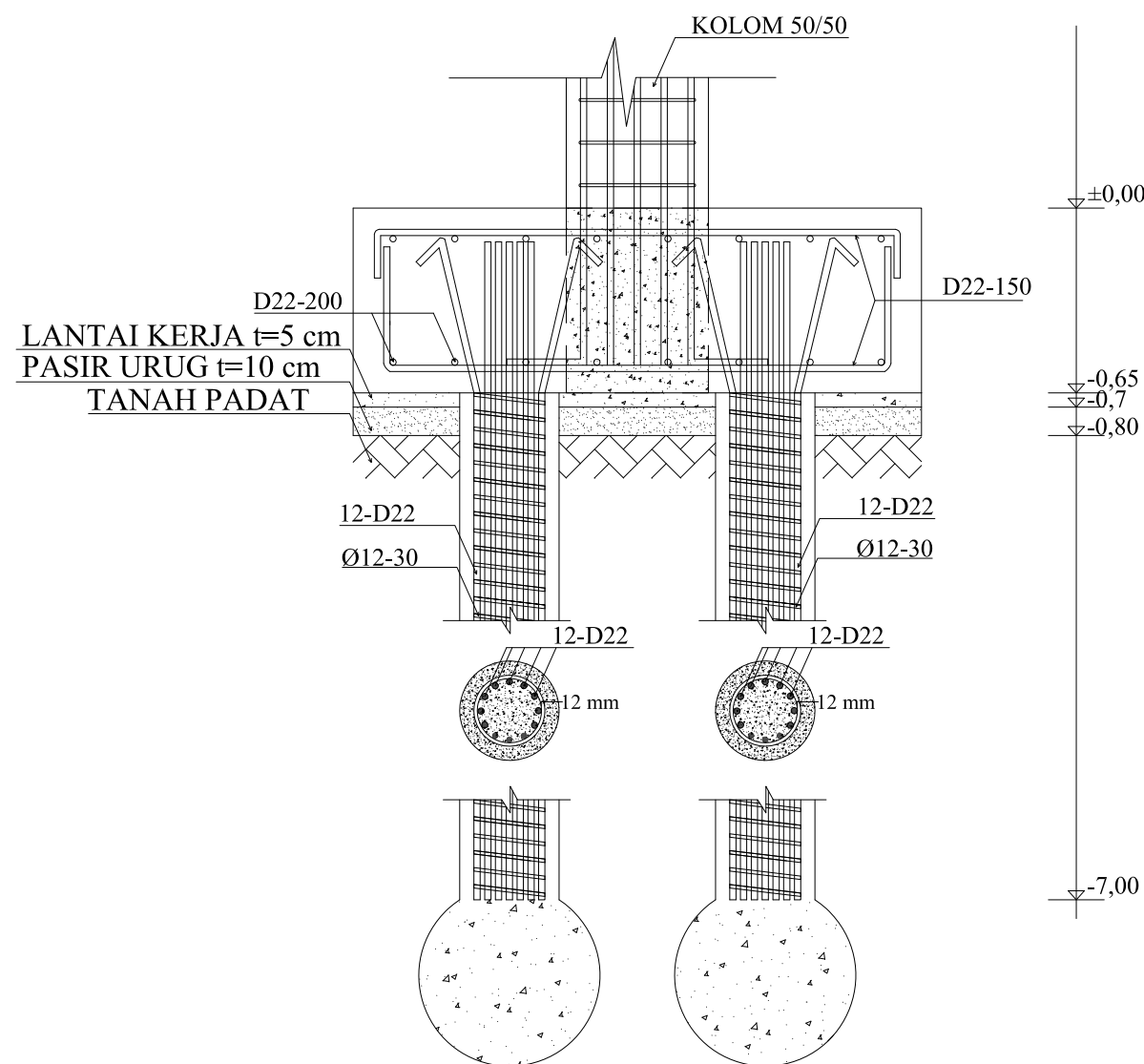
SKALA

Denah Sloof (h=0m)

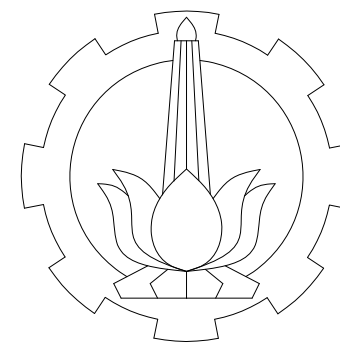
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 44 | 59 |



DETAIL PONDASI P1
Skala 1:25



POTONGAN A-A'
Skala 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Detail Penulangan Pondasi P1

1:25

KODE GBR

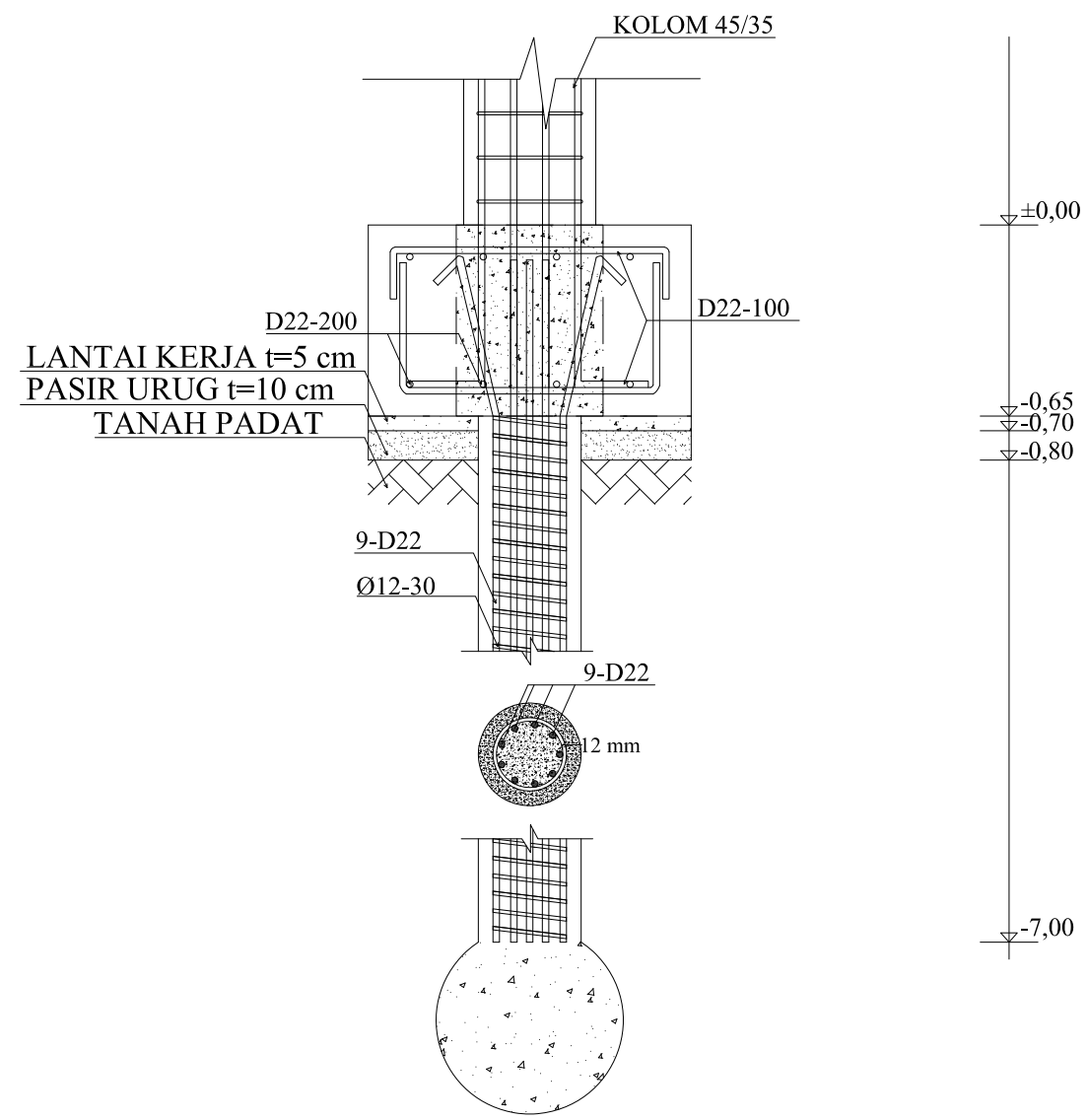
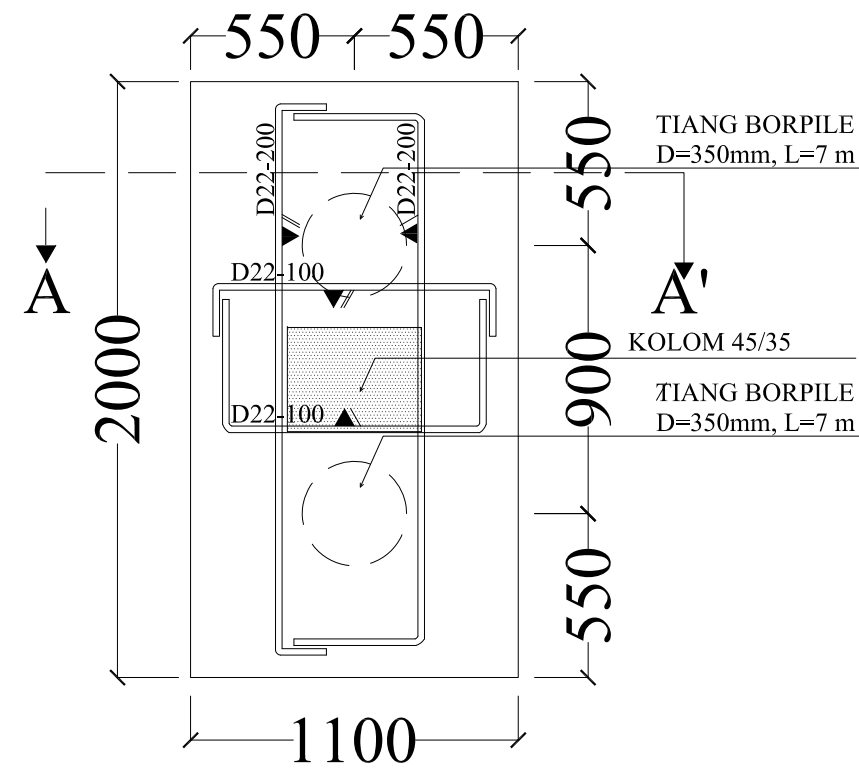
NO GBR

JML GBR

STR

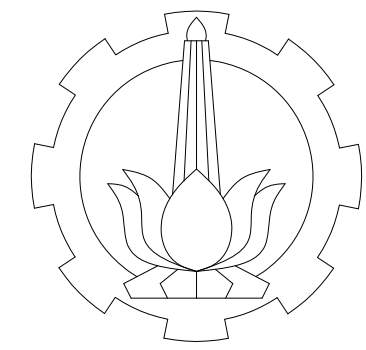
46

59



 **DETAIL PONDASI P2**
Skala 1:25

 **POTONGAN A-A'**
Skala 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

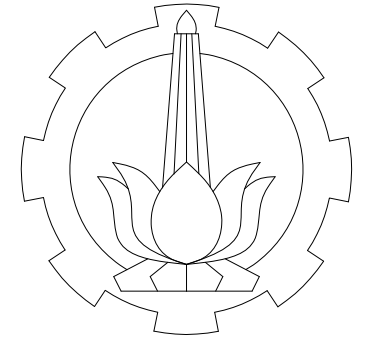
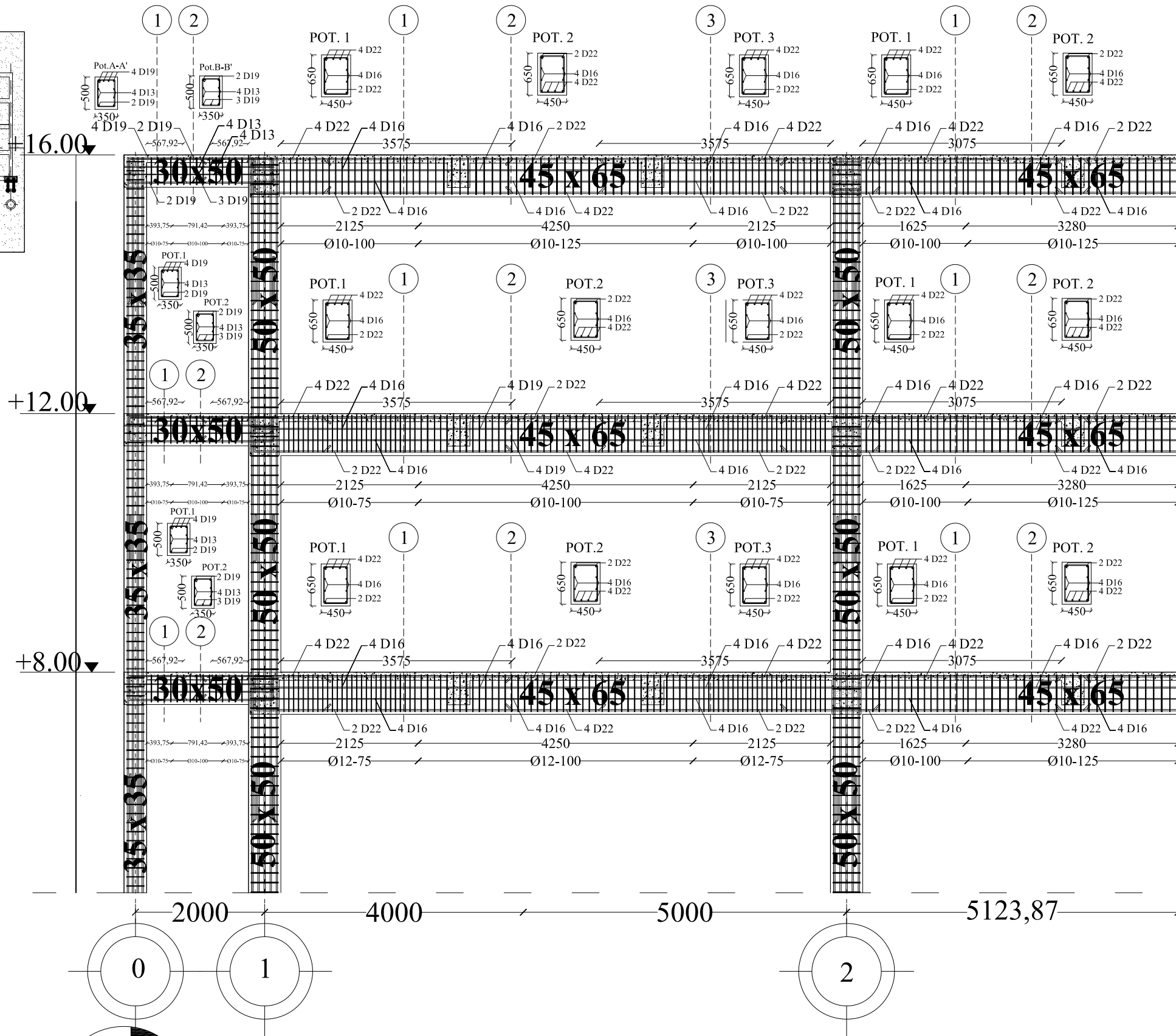
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR **SKALA**

| | |
|------------------------------|------|
| Detail Penulangan Pondasi P2 | 1:25 |
|------------------------------|------|

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 47 | 59 |

The diagram shows a horizontal track with five pairs of wheels. A dashed line indicates the path of a ball. A vertical line marks the starting point. A small circle with a crosshair is at the end of the track.



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

FUNGSI BAGUNAN

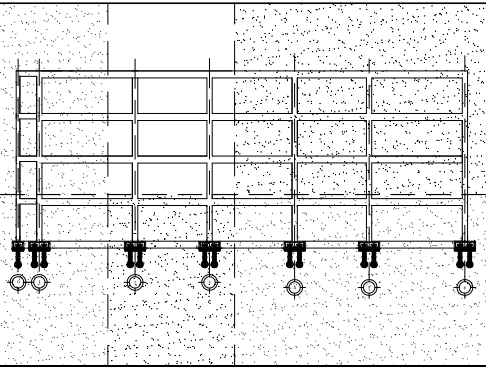
GEDUNG PERKANTORAN

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| JUDUL GAMBAR | | SKALA |
| Potongan A Portal Memanjang AS-D | | 1:70 |
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
| STR | 48 | 59 |

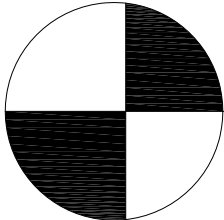
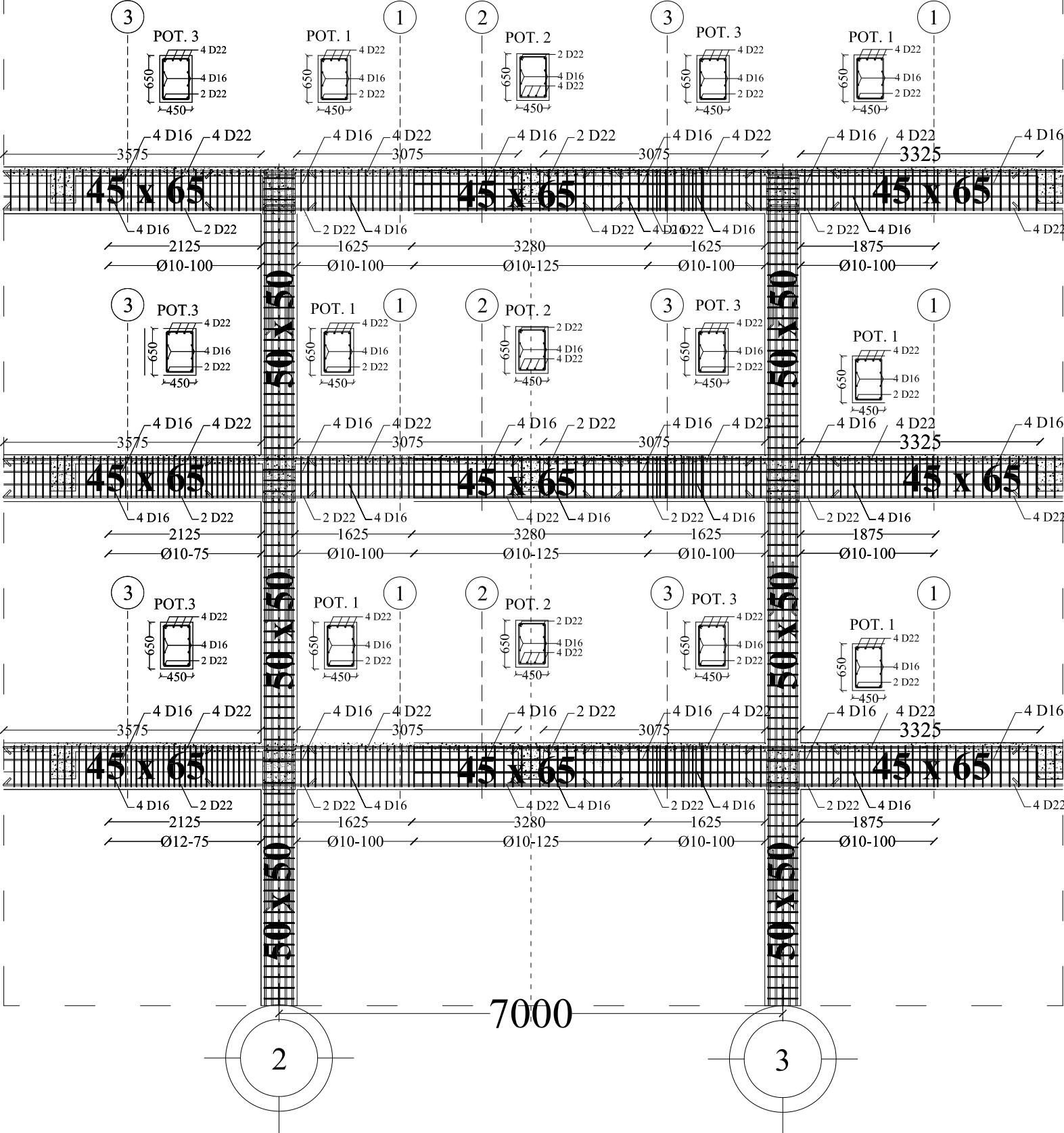
Potongan B, AS-D (2-3)



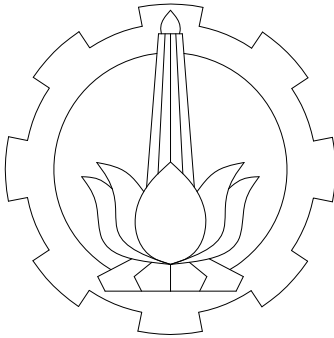
+16.00

+12.00

+8.00



Potongan B Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | |
|--------|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| TUGAS | |
|---|--|
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | |

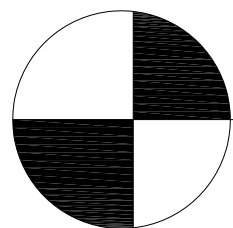
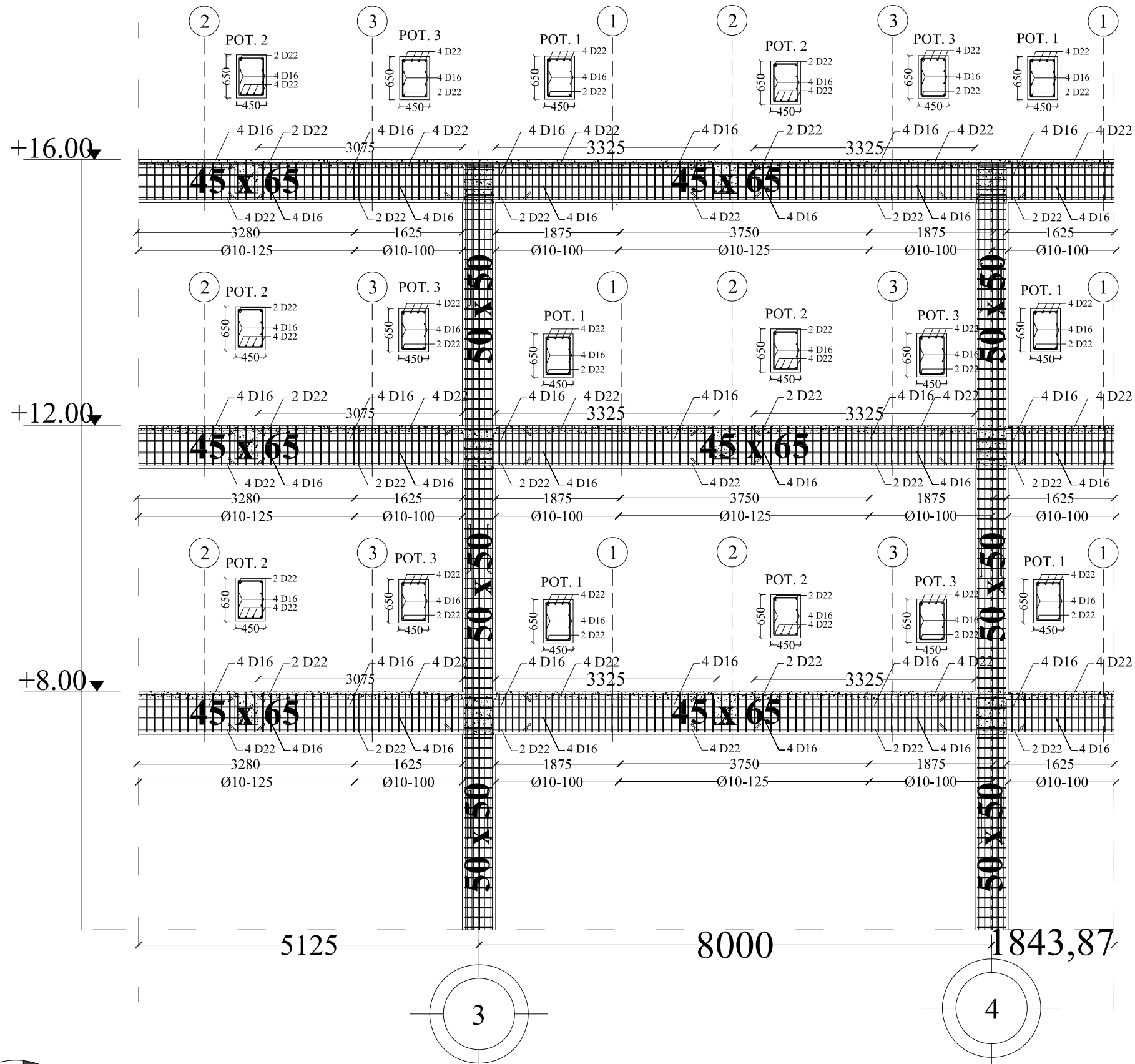
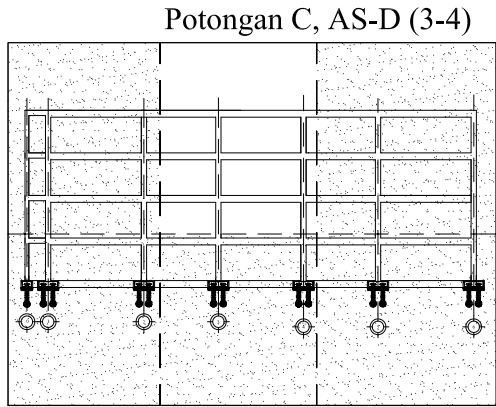
| FUNGSI BAGUNAN | |
|--------------------|--|
| GEDUNG PERKANTORAN | |

| DOSEN PEMBIMBING | |
|---|--|
| Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd NIP 19630726 198903 1 003 | |

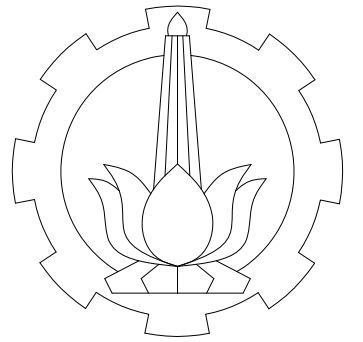
| MAHASISWA | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| JUDUL GAMBAR | SKALA |
|-------------------------------------|-------|
| Potongan B Portal Memanjang AS-D | 1:70 |

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 49 | 59 |



Potongan C Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Potongan C Portal
Memanjang AS-D

1:70

KODE GBR

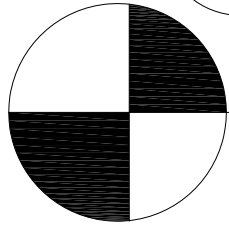
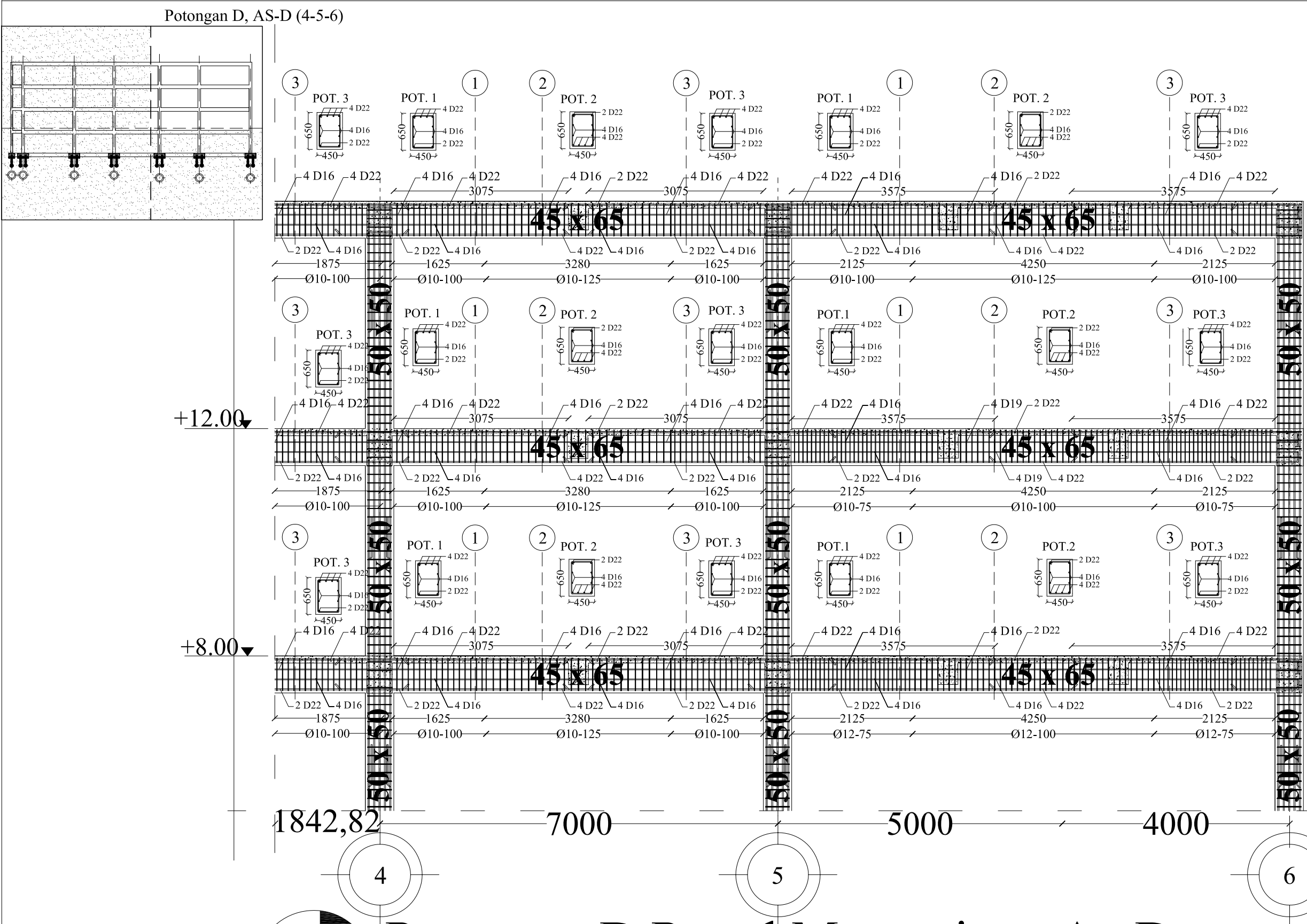
NO GBR

JML GBR

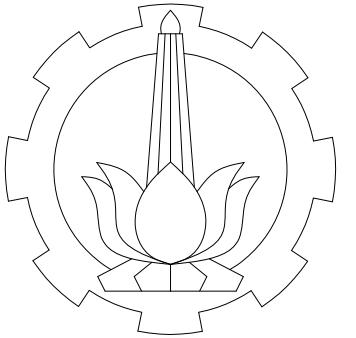
STR

50

59



Potongan D Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | |
|--------|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| TUGAS | |
|---|--|
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | |

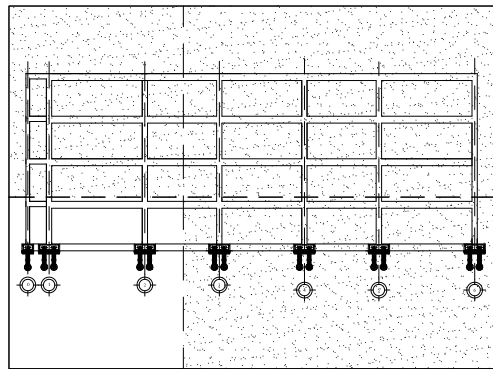
| FUNGSI BAGUNAN | |
|--------------------|--|
| GEDUNG PERKANTORAN | |

| DOSEN PEMBIMBING | |
|---|--|
| Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd NIP 19630726 198903 1 003 | |

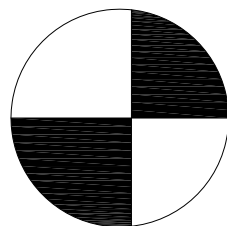
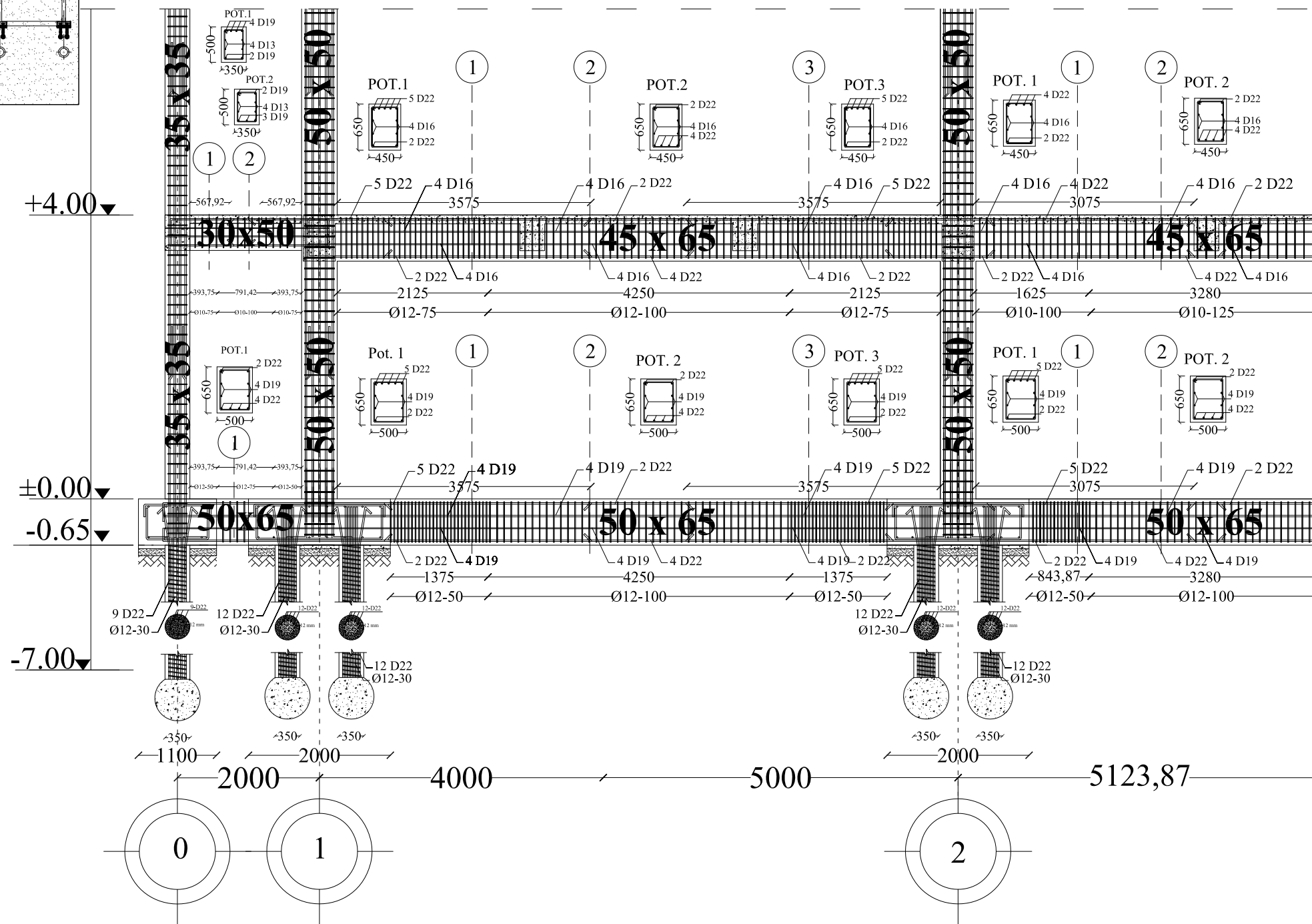
| MAHASISWA | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| JUDUL GAMBAR | SKALA |
|-------------------------------------|-------|
| Potongan D Portal Memanjang AS-D | 1:70 |

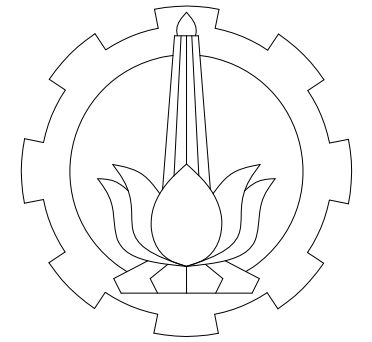
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 51 | 59 |



Potongan E, AS-D (0-1-2)



Potongan E Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Potongan E Portal
Memanjang AS-D

1:70

KODE GBR

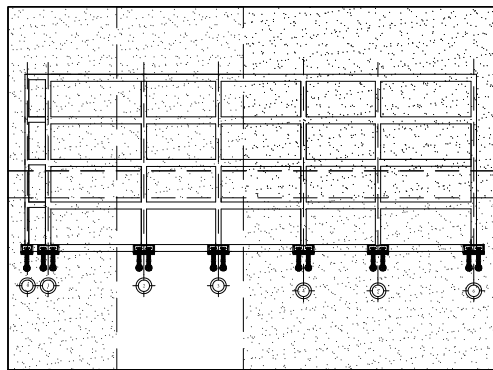
NO GBR

JML GBR

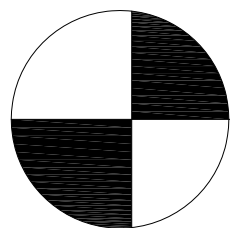
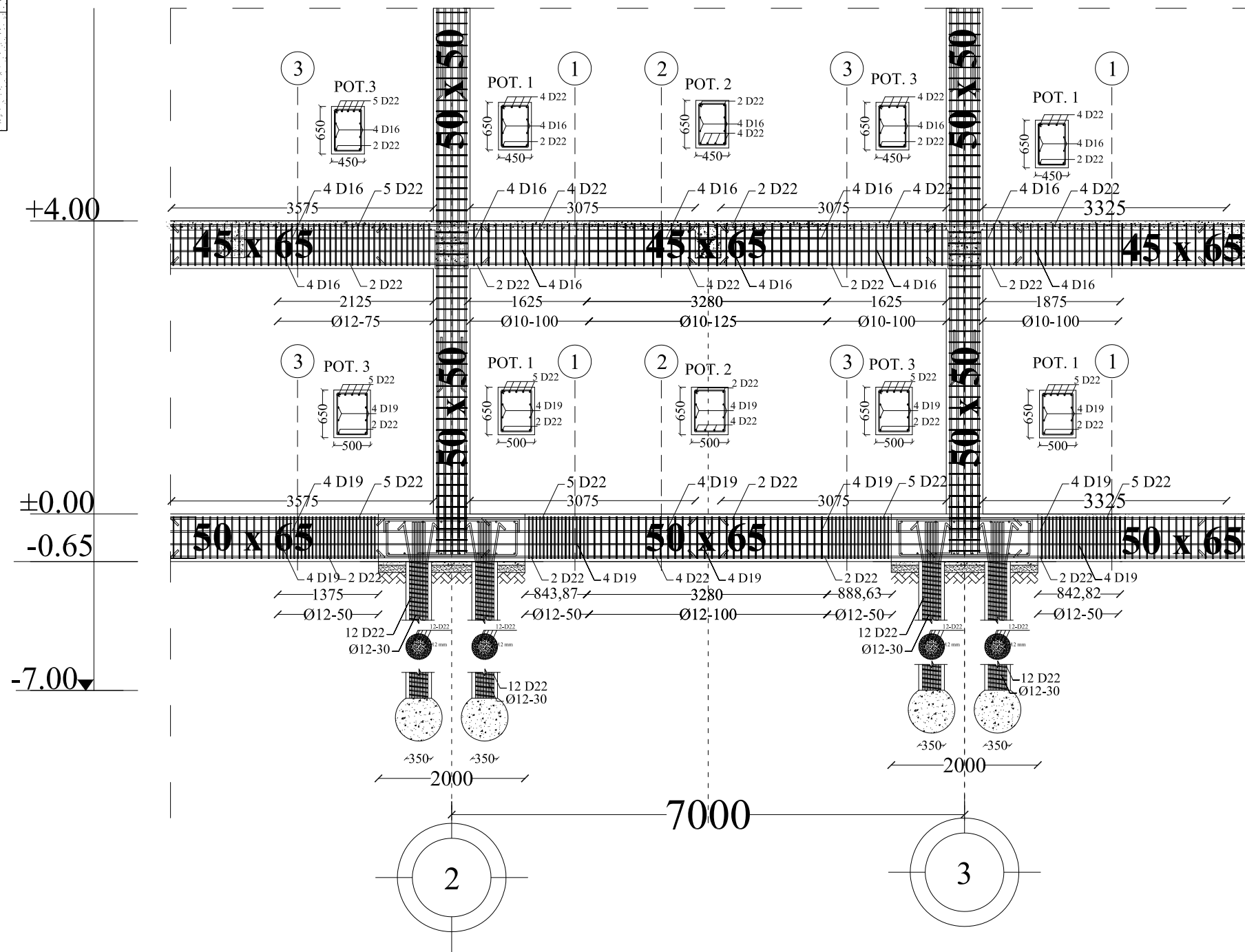
STR

52

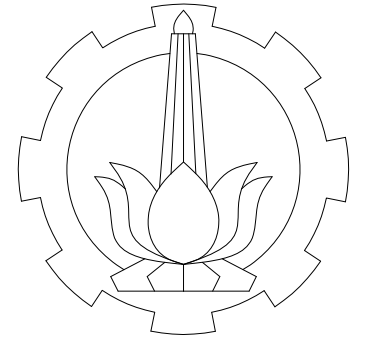
59



Potongan F, AS-D (2-3)



Potongan F Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Potongan F Portal
Memanjang AS-D

1:70

KODE GBR

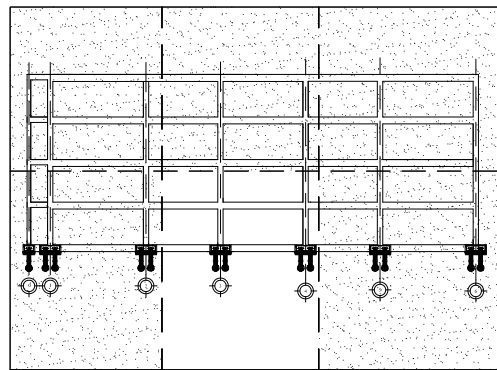
STR

NO GBR

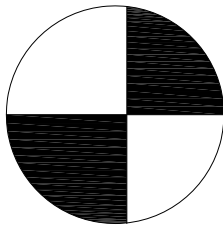
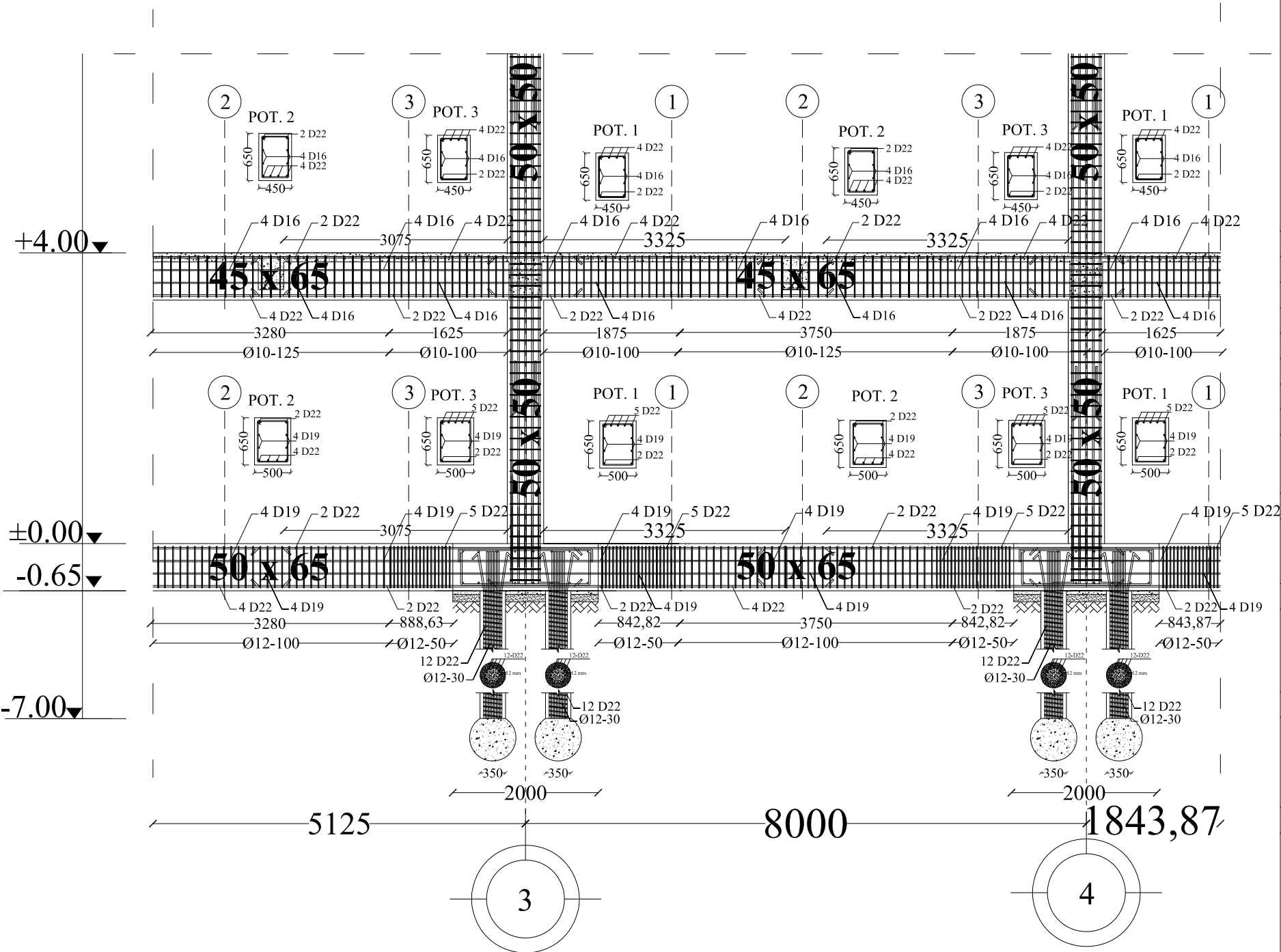
53

JML GBR

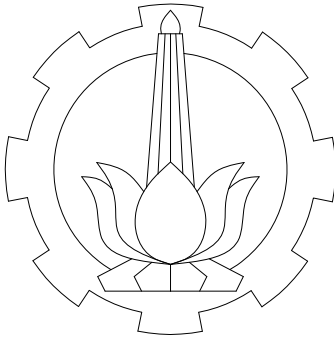
59



Potongan G, AS-D (3-4)



Potongan G Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | | |
|--------|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

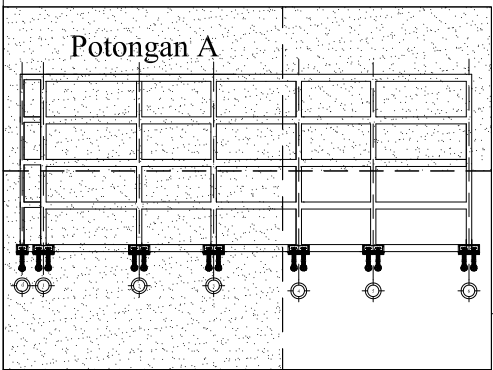
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

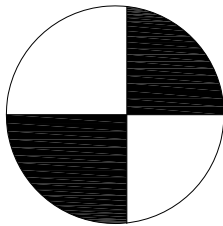
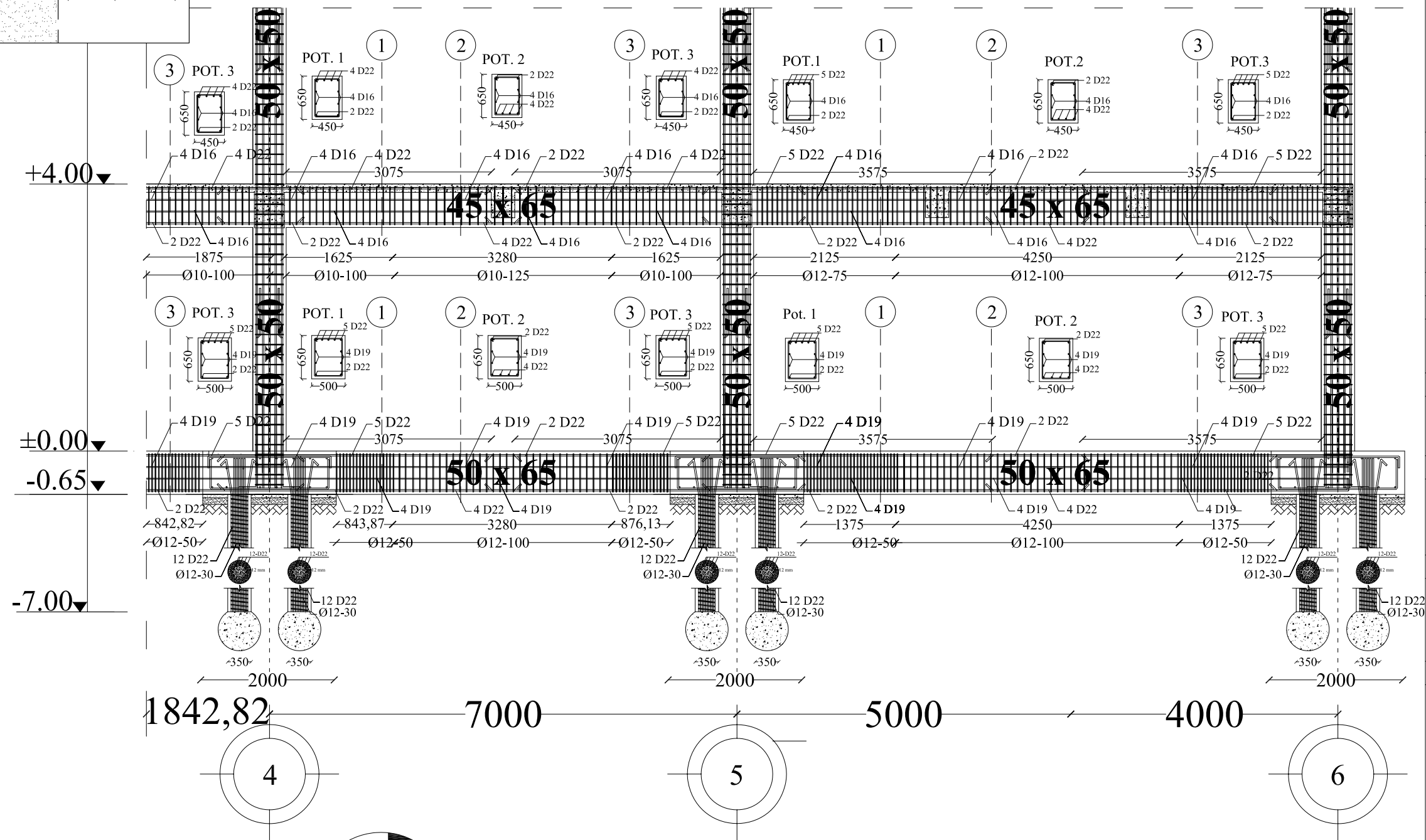
Potongan G Portal
Memanjang AS-D

SKALA
1:70

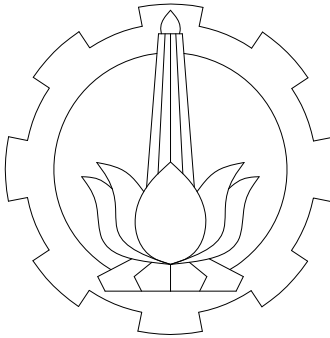
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 54 | 59 |



Potongan H, AS-D (4-5-6)



Potongan H Portal Memanjang As-D
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | |
|--------|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| TUGAS | |
|---|--|
| TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL | |

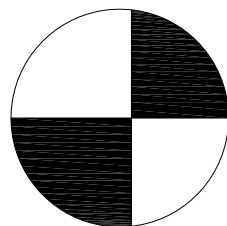
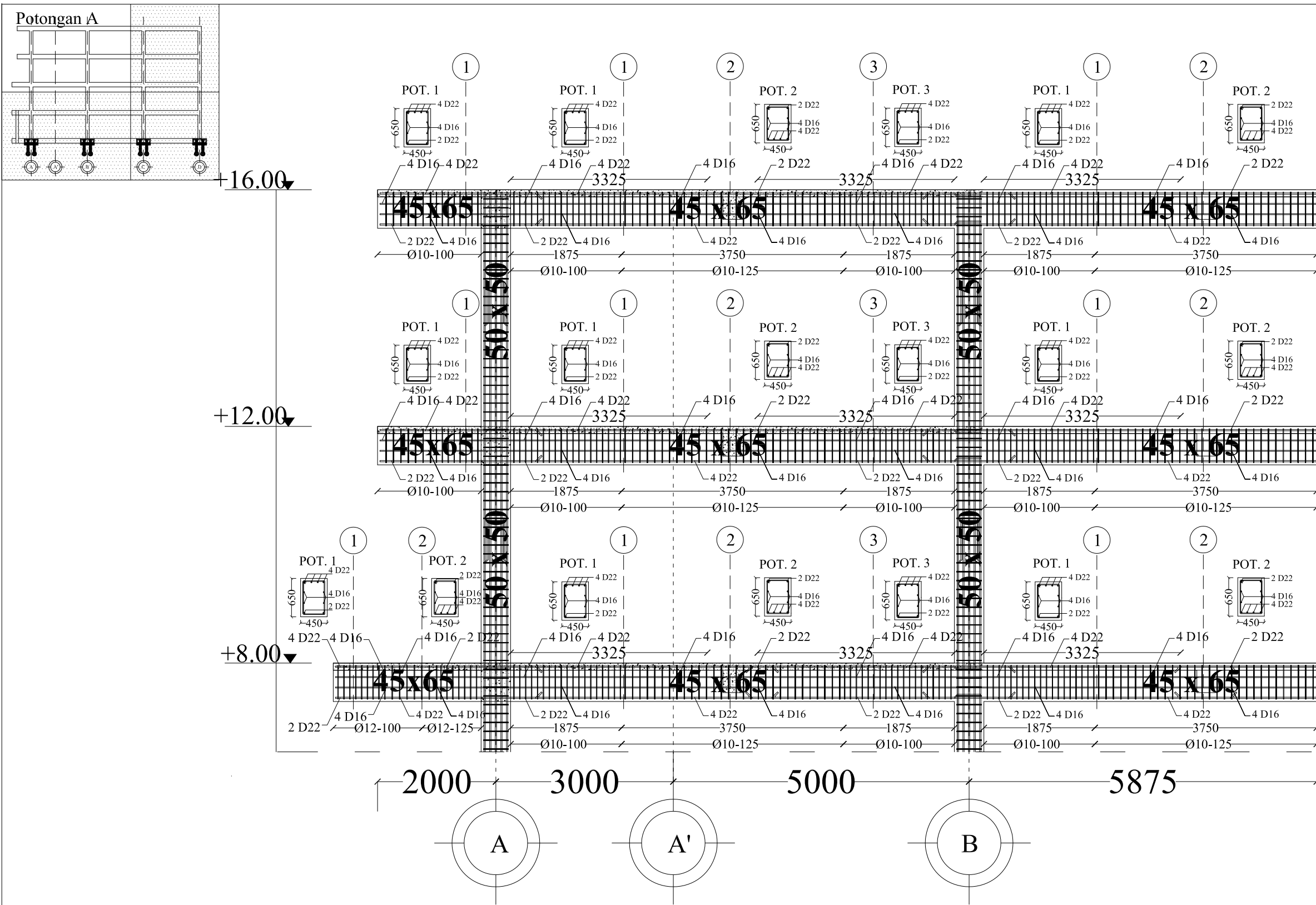
| FUNGSI BAGUNAN | |
|--------------------|--|
| GEDUNG PERKANTORAN | |

| DOSEN PEMBIMBING | |
|---|--|
| Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd NIP 19630726 198903 1 003 | |

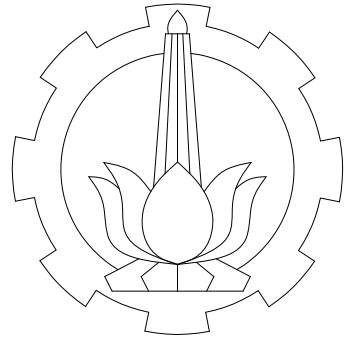
| MAHASISWA | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| JUDUL GAMBAR | SKALA |
|-------------------------------------|-------|
| Potongan H Portal Memanjang AS-D | 1:100 |

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 55 | 59 |



Potongan A Portal Melintang As-4
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Potongan A Portal Melintang
AS-4

1:70

KODE GBR

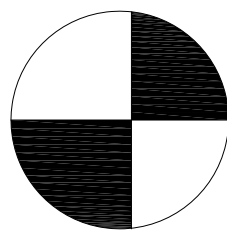
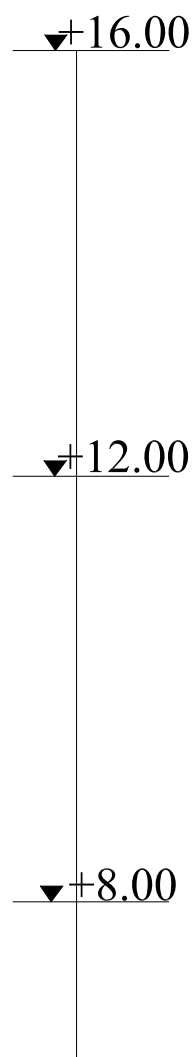
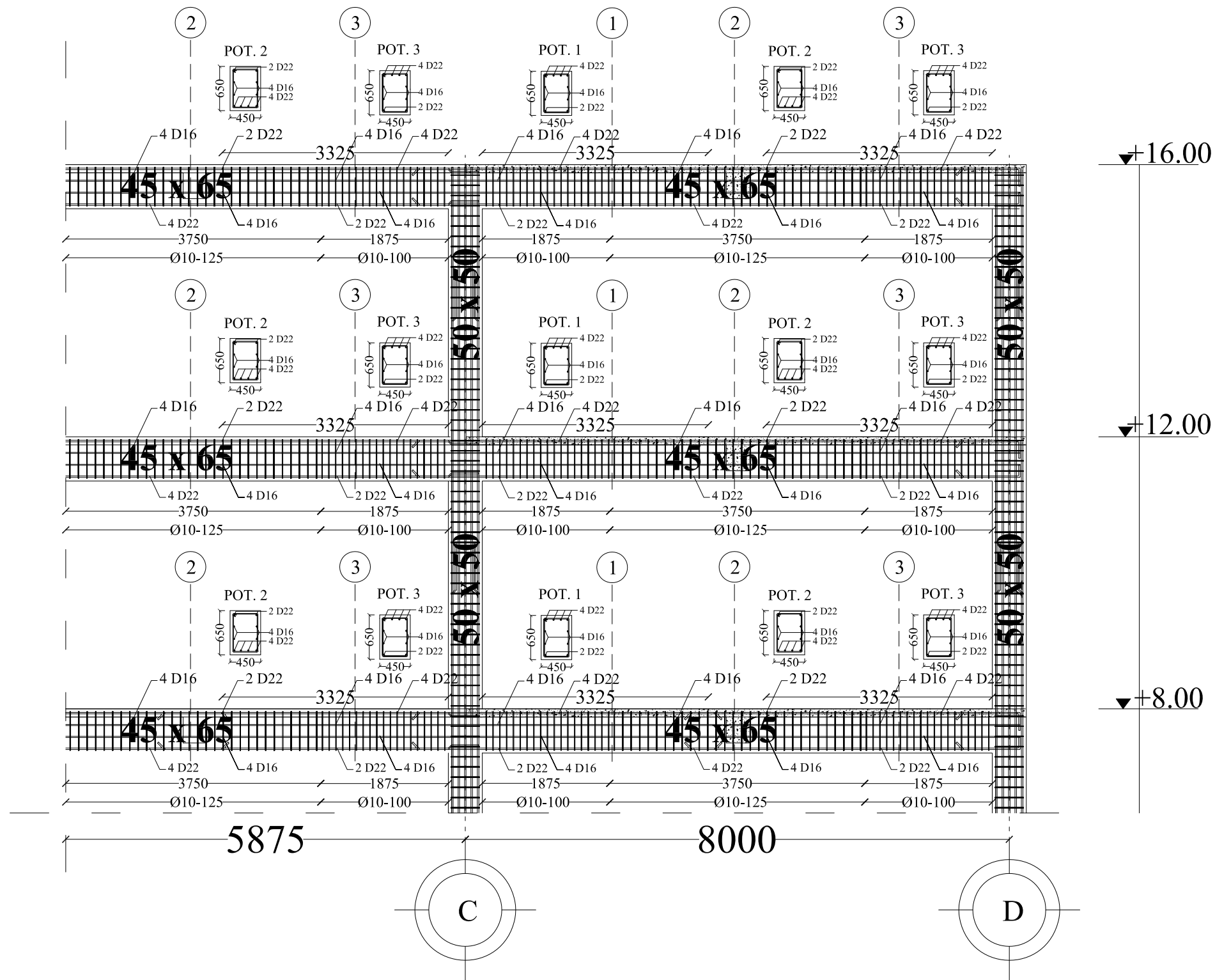
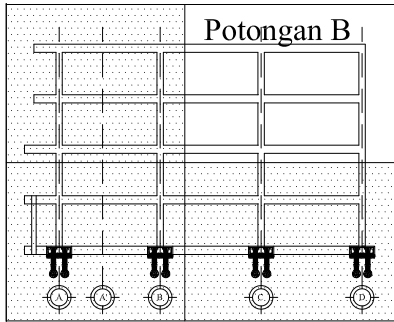
NO GBR

JML GBR

STR

56

59



Potongan B Portal Melintang As-4
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

JUDUL GAMBAR

SKALA

Potongan B Portal Melintang
AS-4

1:70

KODE GBR

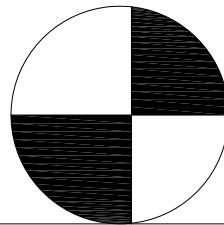
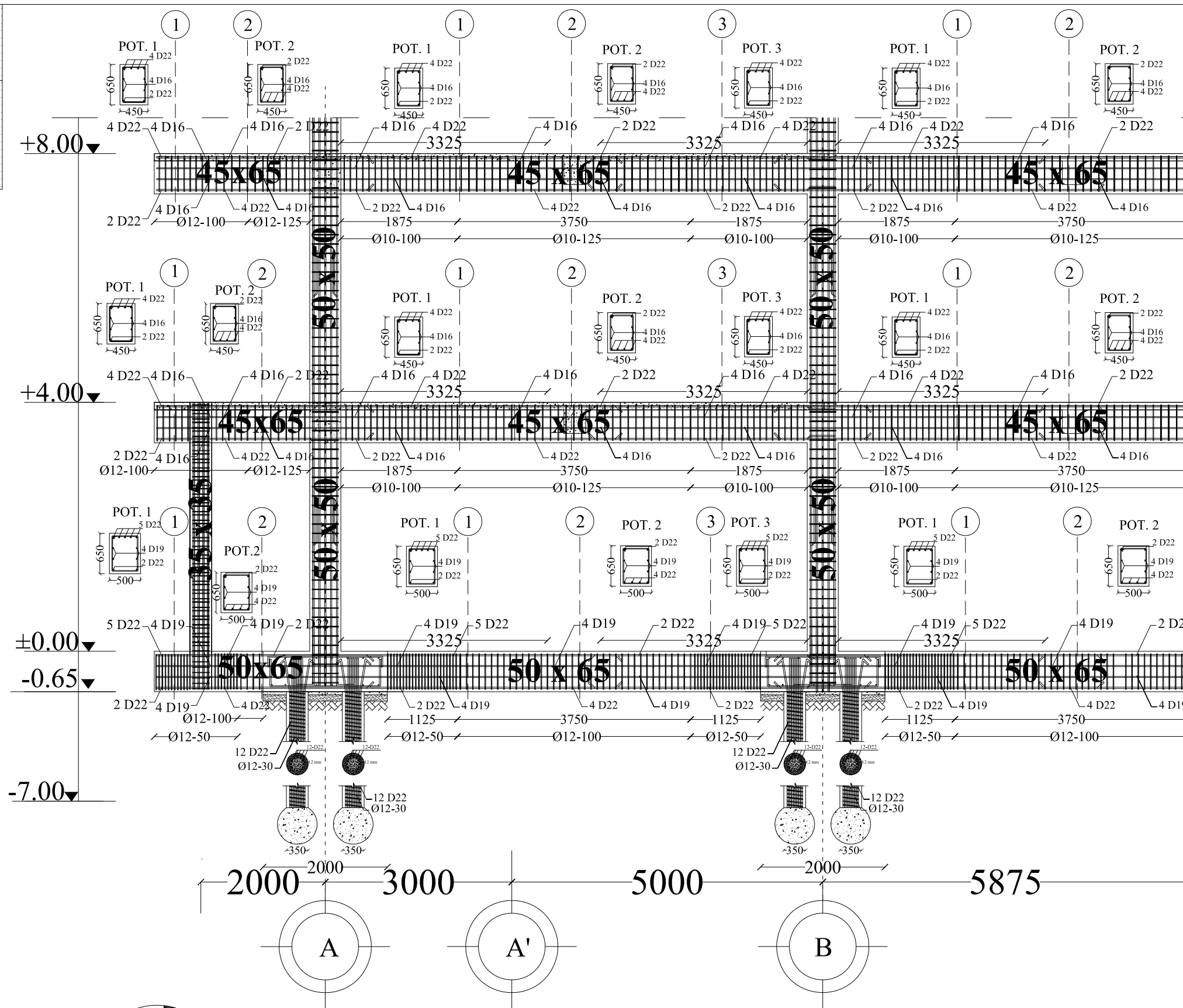
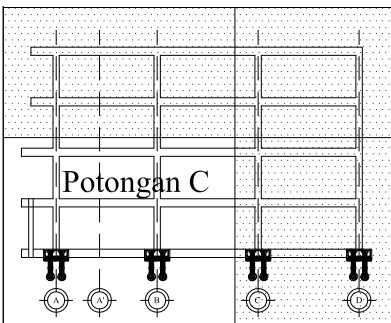
NO GBR

JML GBR

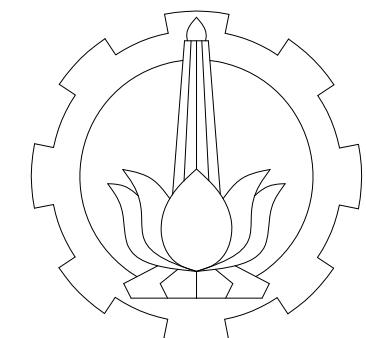
STR

57

59



Potongan C Portal Melintang As-4
Skala 1:70



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
BANGUNAN GEDUNG

| REVISI | |
|--------|--|
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS
TUGAS AKHIR PROGRAM STUDI
DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

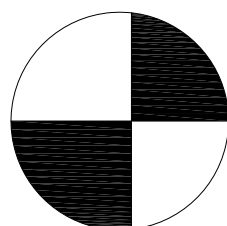
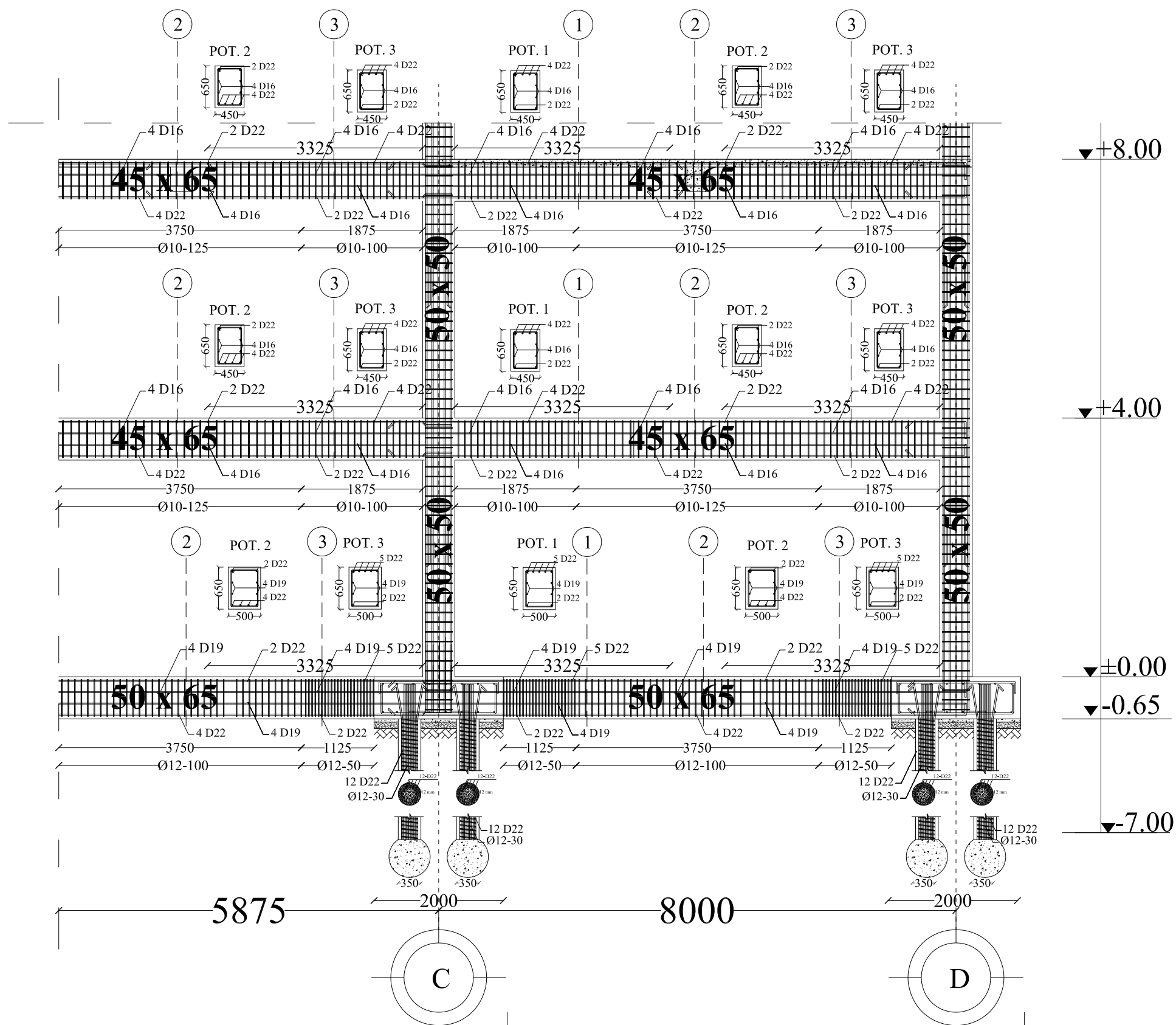
FUNGSI BAGUNAN
GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING
Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA
NUR AFIAH NRP 3113 030 125
ISMI BAROROH NRP 3113 030 132

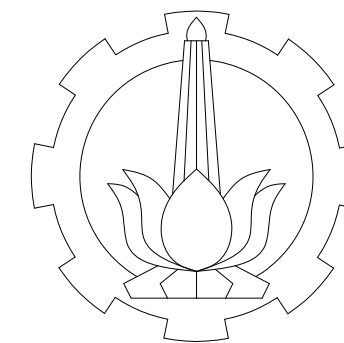
| JUDUL GAMBAR | SKALA |
|-------------------------------------|-------|
| Potongan C Portal Melintang AS-4 | 1:70 |

| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
|----------|--------|---------|
| STR | 58 | 59 |



Potongan D Portal Melintang As-4

Skala 1:70



REVISI

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TUGAS

FUNGSI BAGUNAN

GEDUNG PERKANTORAN

DOSEN PEMBIMBING

Prof.Ir. M. SIGIT D, M.Eng SC, Phd
NIP 19630726 198903 1 003

MAHASISWA

| | |
|--------------|------------------|
| NUR AFIAH | NRP 3113 030 125 |
| ISMI BAROROH | NRP 3113 030 132 |

| JUDUL GAMBAR | | SKALA |
|-------------------------------------|--------|---------|
| Potongan D Portal Melintang AS-4 | | 1:70 |
| KODE GBR | NO GBR | JML GBR |
| STR | 59 | 59 |

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur Pelat Lantai dan Tangga

Pada komponen pelat didapat tulangan sebagai berikut :

Tabel 5. 1 Rekap Hasil Perhitungan Pelat Lantai

| TIPE PELAT | Ly | Lx | Ly/Lx | JENIS PELAT |
|------------------|------|------|-------|----------------|
| | m | m | | |
| A (Pelat Atap) | 4.00 | 4.00 | 1.00 | PELAT DUA ARAH |
| B (Pelat Lantai) | 4.00 | 4.00 | 1.00 | PELAT DUA ARAH |

| TIPE PELAT | Penulangan Pelat | | | | | | | | | | | |
|------------|------------------|---|-------|-----------|---|-------|------------|---|-------|------------|---|-------|
| | Tumpuan X | | | Tumpuan Y | | | Lapangan X | | | Lapangan Y | | |
| | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi |
| A | 8 | - | 100 | 8 | - | 100 | 8 | - | 100 | 8 | - | 100 |
| B | 8 | - | 100 | 8 | - | 100 | 8 | - | 100 | 8 | - | 100 |

| TIPE PELAT | Tulangan Susut | | | | | |
|------------|----------------|---|-------|-------------|---|-------|
| | tul.susut X | | | tul.susut Y | | |
| | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi |
| A | 8 | - | 200 | 8 | - | 200 |
| B | 8 | - | 200 | 8 | - | 200 |

Tabel 5. 2 Rekap Hasil Perhitungan Pelat Tangga

| TIPE TANGGA | t | i | α | T.PELAT | ARAH PENULANGAN | TANGGA | BORDES |
|----------------|----|----|----------|---------|--------------------|-----------|-----------|
| | cm | cm | o | cm | | | |
| 1 | 17 | 30 | 29.54 | 15 | PENDEK | Ø12 - 200 | Ø12- 200 |
| | | | | | PANJANG | Ø12 - 200 | Ø12 - 200 |
| 2 | 15 | 30 | 26.57 | 15 | PENDEK | Ø12 - 200 | Ø12- 150 |
| | | | | | PANJANG | Ø12 - 200 | Ø12 - 150 |

| TIPE TANGGA | Tulangan Susut Tangga | | | | | | Tulangan Susut Bordes | | | | | |
|----------------|-----------------------|---|-------|-------------|---|-------|-----------------------|---|-------|-------------|---|-------|
| | tul.susut X | | | tul.susut Y | | | tul.susut X | | | tul.susut Y | | |
| | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi | Ø | - | Spasi |
| 1 | 10 | - | 200 | 10 | - | 200 | 10 | - | 200 | 10 | - | 200 |
| 2 | 10 | - | 200 | 10 | - | 200 | 10 | - | 200 | 10 | - | 200 |

2. Struktur Balok

Komponen balok yang telah dihitung akan disimpulkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 5. 3 Rekap Hasil Perhitungan Balok

| KODE BALOK | DIMENSI | Lt | LETAK | TUL. TORSI | | TUL. LENTUR (AS') | | TUL. LENTUR (AS) | | TUL. GESER | | S |
|---------------|----------------------|---------------|-------|---------------|----|-------------------------|----|------------------------|----|---------------|----|-----|
| | cm | | | n | D | n | D | n | D | n kaki | Ø | |
| BI | 45 X 65 (9 meter) | 2 | TUM | 4 | 16 | 2 | 22 | 5 | 22 | 2 | 12 | 75 |
| | | | LAP | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 12 | 100 |
| BI | 45 X 65 (9 meter) | 3 s/d 4 | TUM | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 75 |
| | | | LAP | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 100 |
| BI | 45 X 65 (9 mete) | Atap | TUM | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 100 |
| | | | LAP | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 125 |
| BI | 45 X 65 | | TUM | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 100 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------------------|---------------|-----|---|----|---|----|---|----|---|----|-----|
| | (7 mete) | 2 s/d Atap | LAP | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 125 |
| BI | 45 X 65 (8 mete) | 2 s/d Atap | TUM | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 100 |
| | | | LAP | 4 | 16 | 2 | 22 | 4 | 22 | 2 | 10 | 125 |
| BA | 35 X 50 (4 meter) | 2 s/d Atap | TUM | 4 | 13 | 2 | 19 | 4 | 19 | 2 | 10 | 75 |
| | | | LAP | 4 | 13 | 2 | 19 | 3 | 19 | 2 | 10 | 100 |
| SLOOF | 50 X 65 (9 mete) | 1 | TUM | 4 | 19 | 2 | 22 | 5 | 22 | 0 | 12 | 50 |
| | | | LAP | 4 | 19 | 2 | 22 | 4 | 14 | 0 | 12 | 100 |
| BORDES | 35 X 50 (2 meter) | El+6 | TUM | 4 | 13 | 2 | 19 | 5 | 19 | 2 | 12 | 50 |
| | | | LAP | 4 | 13 | 2 | 19 | 4 | 19 | 2 | 12 | 100 |

3. Struktur Kolom

Bentuk : Lingkaran
Dimensi : D 450 mm
Senggang : Spiral

Tabel 5. 4 Rekap Hasil Perhitungan Kolom

| KODE KOLOM | DIMENSI | ARAH | TUL. LENTUR (AS) | | TUL. GESER | | S |
|---------------|----------------------|------|------------------------|----|---------------|----|-----|
| | cm | | n | D | n kaki | Ø | |
| K1 | 50 X 50 (4 meter) | X | 16 | 22 | 2 | 10 | 150 |
| | | Y | 16 | 22 | | | |
| K2 | 35 X 45 (4 meter) | X | 16 | 22 | 2 | 10 | 150 |
| | | Y | 16 | 22 | | | |
| K3 | 35 X 35 (4 mete) | X | 12 | 22 | 2 | 10 | 140 |
| | | Y | 12 | 22 | | | |

4. Pondasi

Tabel 5. 5 Rekap Hasil Perhitungan Pondasi

| TIPE PONDASI | BANYAK TIANG BORPILE (D = 350 mm) | TULANGAN BORPILE L = 7m | | | | UKURAN PILECAP | | ARAH | TUL. LENTUR | |
|-----------------|---|-------------------------------|----|-----------------|----------|-------------------|-----|------|----------------|-----|
| | | Tul. Utama | | Geser Spiral | | | | | D | S |
| | | n | D | Ø | S | P | L | | | |
| 1 | 4 TIANG BORPILE | 12 | 22 | 12 | 30 mm | 2 m | 2 m | X | 22 | 150 |
| | | | | | | | | Y | 22 | 200 |
| 2 | 2 TIANG BORPILE | 9 | 22 | 12 | 30 mm | 1.1 m | 2 m | X | 22 | 100 |
| | | | | | | | | Y | 22 | 200 |

5.2 Saran

- Sebelum mengerjakan Tugas Akhir hendaknya melengkapi seluruh data yang dibutuhkan, agar proses pengerjaan Tugas Akhir ini dapat berjalan lancar.
- Sebelum mengerjakan Tugas Akhir hendaknya menyusun sistematika penulisan Tugas Akhir secara urut dan keseluruhan, agar dalam pengerjaan Tugas Akhir tidak ada yang terlupakan dan berjalan lancar.
- Hendaknya mengerjakan Tugas Akhir ini secara teratur, sehingga pengerjaan dan hasil dapat maksimal dan sesuai dengan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*.

Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727-2013)*.

Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*.

Chu Kia Wang, Charles G.Salmon, Binsar Hariandja. (1994). *Disain Beton Bertulang, Edisi Keempat, Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971)*.

Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)*.

Suyono Sasrodarsono, Kazuto Nakazawa. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Cetakan Ketujuh*. Jakarta: Pradnya Paramita.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sumenep Jawa Timur, 3 Januari 1995, merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Nur Afiah telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Suryalaya Sumenep, SDN Kolor II Sumenep, SMPN 1 Sumenep dan SMAN 1 Sumenep. Setelah lulus dari SMA tahun 2013, penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan DIII Teknik Sipil FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 3113030125. Di Jurusan DIII Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Selama menempuh pendidikan kurang lebih tiga tahun, penulis pernah aktif di kegiatan UKM renang ITS sebagai anggota, Maritime Challenge sebagai anggota dan sebagai staff medfo di JMAA (Jamaah Masjid Al-Azhar). Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis sering menghabiskan waktu untuk mengikuti pelatihan dan lomba-lomba.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan Jawa Timur, 11 Februari 1995, merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis bernama lengkap Ismi Baroroh telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Darul Ulum Lamongan, MI Darul Ulum Lamongan, Mts. Ihyaul Ulum Gresik dan MA. Ihyaul Ulum Gresik. Setelah lulus dari MA tahun 2013, penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan DIII Teknik Sipil FTSP-

ITS dan terdaftar dengan NRP 3113030132. Di Jurusan DIII Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Selama menempuh pendidikan kurang lebih tiga tahun, penulis pernah aktif di kegiatan kemahasiswaan, bahkan sempat menduduki posisi atau jabatan sebagai kepala departemen Ristek HMDS 2014-2015, menjadi staff departemen keputrian JMAA (Jamaah Masjid Al-Azhar) selama dua periode, anggota UKM Pramuka ITS. Penulis juga pernah mewakili ITS dalam lomba Essay Pendidikan tahun 2014. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis sering menghabiskan waktu untuk mengikuti pelatihan dan lomba-lomba.